

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

①① N° de publication :

**2.129.132**

(A n'utiliser que pour  
le classement et les  
commandes de reproduction.)

②① N° d'enregistrement national :

**71.09159**

(A utiliser pour les paiements d'annuités,  
les demandes de copies officielles et toutes  
autres correspondances avec l'I.N.P.I.)

# ①⑤ BREVET D'INVENTION

PREMIÈRE ET UNIQUE  
PUBLICATION .

②② Date de dépôt ..... 16 mars 1971, à 15 h 53 mn.  
Date de la décision de délivrance..... 2 octobre 1972.  
Publication de la délivrance..... B.O.P.I. — «Listes» n. 43 du 27-10-1972.

⑤① Classification internationale (Int. Cl.) H 02 n 4/00//F 04 b 15/00.

⑦① Déposant : Société anonyme dite : GROUPEMENT ATOMIQUE ALSACIENNE  
ATLANTIQUE, résidant en France.

⑦③ Titulaire : *Idem* ⑦①

⑦④ Mandataire : Georges Kodratoff.

⑤④ Pompe à induction pour métaux liquides corrosifs.

⑦② Invention de : Henri Carbonnel et Robert Borie.

③③ ③② ③① Priorité conventionnelle :

La présente invention concerne une pompe à conduction susceptible d'acheminer à l'état liquide des métaux corrosifs tels par exemple, l'aluminium, le zinc, la fonte ou l'acier.

L'usage de pompes pour métaux liquides s'est développé en même temps que les  
5 diverses techniques nécessitant la mise en circulation de métaux liquides notamment pour les travaux de fonderie, le traitement de purification des métaux et également pour servir de fluide caloporteur dans l'énergie nucléaire. Le fonctionnement de ces pompes fait en général appel aux propriétés conductrices des  
10 métaux liquides et met en oeuvre une force électromagnétique qui entraîne le métal liquide en mouvement. On distingue ainsi deux types de pompes électromagnétiques : les pompes à conduction et les pompes à induction.

Dans les premières on fait passer le courant à travers une tranche transversale du conduit et du flux de métal liquide qu'il contient en présence d'un  
15 champ magnétique perpendiculaire à la direction du courant électrique et à la direction du flux de métal liquide, de sorte qu'il apparaît au sein du métal liquide une force dirigée suivant le troisième axe d'un trièdre dont les deux premiers axes sont orientés respectivement suivant la direction du champ et suivant la direction du courant. Ce type de pompes faciles à réaliser lorsque le conduit  
20 du métal liquide est lui-même conducteur n'a pas pu être utilisé jusqu'à présent en présence de métaux liquides corrosifs qui attaqueraient les conduits métalliques usuels. Il en résulte qu'en l'état actuel de la technique, les pompes à conduction ne peuvent être utilisées que pour véhiculer des métaux peu corrosifs tels que par exemple les métaux alcalins, le plomb, le mercure ou le magnésium.

Pour les métaux plus actifs, on a été amené à constituer le conduit du métal  
25 liquide en matériaux réfractaires en général assez mauvais conducteurs de l'électricité. De ce fait on a été conduit à utiliser des pompes à induction. Dans ce deuxième type de pompes, des circuits magnétiques convenablement placés induisent dans le métal liquide un champ magnétique glissant qui entraîne le métal fondu à l'intérieur du conduit à la manière dont est entraînée en rotation la cage conductrice d'un moteur asynchrone ce qui apparente ce type de pompes aux moteurs  
30 linéaires.

Cependant ces pompes à induction sont en général assez volumineuses en raison de la nécessité de loger les circuits magnétiques autour d'un tuyau  
réalisé en matériau réfractaire ce qui interdit leur utilisation dans les nombreuses applications où l'on souhaite loger la pompe dans un volume restreint.  
35 Par ailleurs ce type de pompes ne s'amorce pas tout seul lorsque le métal à aspirer se trouve au dessous du niveau de la pompe et compte tenu de leur encombrement il est difficile de les immerger pour faciliter leur amorçage. De sorte qu'en définitive les pompes à induction présentent un intérêt assez limité.

40 Pour surmonter les divers inconvénients que présentent les pompes à in-

duction, la Demanderesse a cherché à réaliser des pompes à conduction pour métaux liquides corrosifs dans lesquelles un contact électrique peut être obtenu entre un élément de circuit parcouru par un courant intense et le flux de métal corrosif contenu dans une enveloppe de matériau réfractaire dont deux  
5 côtés ont été remplacés au niveau de la partie active de la pompe par des électrodes. Une telle solution soulève évidemment de nombreux problèmes. Les principaux d'entre eux concernent la protection de telles électrodes contre le métal corrosif, la dilatation inégale de l'électrode et du matériau réfractaire et enfin l'étanchéité entre l'électrode et le matériau réfractaire, ces deux  
10 derniers problèmes étant liés entre eux.

Après de nombreuses recherches portant notamment sur les propriétés physiques à haute température de certains réfractaires, la Demanderesse a pu surmonter toutes ces difficultés et réaliser un type de pompes à conduction donnant satisfaction et permettant la manipulation et l'acheminement de métaux  
15 liquides corrosifs tout en donnant à la pompe des dimensions très réduites.

L'objet de la présente invention est donc une pompe à conduction de faible encombrement pour métaux corrosifs liquides dans laquelle une tranche du flux de métal liquide active traversée par un courant électrique perpendiculaire à la direction dudit flux est soumise à une force électromagnétique résultant  
20 de l'action de ce courant et d'une induction magnétique orientée perpendiculairement à la direction du courant électrique et à la direction du flux de métal liquide caractérisée en ce que la tranche du flux de métal liquide est délimitée sur deux côtés opposés par des électrodes permettant le passage du courant électrique et sur ses autres côtés par le matériau réfractaire protégeant le  
25 conduit, coulé ou usiné au moment de la construction de la pompe.

Lorsque le courant traversant la tranche de flux de métal liquide est un courant continu, l'induction magnétique appliquée au métal liquide, produite dans le circuit magnétique principal, doit elle-même être continue. Lorsqu'au contraire le courant qui traverse le métal liquide est alternatif, il est nécessaire  
30 que l'induction magnétique soit elle-même alternative. Il est alors avantageux de produire ce courant alternatif par induction dans une spire conductrice. On utilisera alors en général un deuxième circuit magnétique désigné plus loin sous le nom de circuit magnétique secondaire.

Le circuit magnétique principal et éventuellement le circuit magnétique  
35 secondaire comportent chacun une bobine inductrice. La reluctance des circuits magnétiques est choisie suffisamment faible, de sorte qu'il est possible de placer ces bobines à une distance suffisante de la zone de pompage pour qu'elles ne soient pas soumises à l'action thermique directe des pièces portées à haute température.

40 On réduit ainsi l'encombrement de la pompe autour du conduit contenant le

métal liquide.

La spire conductrice peut elle-même être constituée par un conducteur métallique classique (cuivre ou nickel par exemple). Par contre l'électrode doit être constituée avec un métal présentant un coefficient de dilatation thermique aussi proche que possible de celui du matériau réfractaire utilisée de façon à ne laisser apparaître par dilatation aucun intervalle entre les deux matériaux; en outre elle doit être soudable à la spire conductrice et surtout susceptible de supporter l'action de tous les métaux réactifs sans subir de détérioration. On voit qu'il n'existe pas de matériau présentant toutes ces qualités.

10 La Demanderesse a donc été amenée à trouver une solution à ce problème complexe en choisissant un métal dont le coefficient de dilatation était parfaitement approprié et en le revêtant sur chacune de ces faces d'un produit qui en permet la liaison avec son milieu environnant propre.

La Demanderesse a également mis au point un dispositif ingénieux assurant une excellente continuité électrique entre la spire et le flux de métal liquide en constituant la spire conductrice avec le métal liquide corrosif lui-même et en utilisant comme électrode un support réfractaire poreux résistant aux métaux liquides réactifs, la continuité électrique entre la spire liquide et le flux de métal liquide est assurée par la pénétration ou l'imprégnation préalable du

20 métal dans le corps réfractaire poreux.

La Demanderesse a également remarqué que dans certains cas il était préférable de constituer la spire en métal conducteur solide et d'utiliser une électrode constituée d'un matériau réfractaire imprégné d'un métal tandis que dans d'autres cas il était avantageux d'utiliser une spire de métal liquide aboutissant à une électrode solide réalisée en un matériau du VI<sup>e</sup> groupe des métaux de la classification périodique des éléments protégée des deux côtés par une couche conductrice insensible aux métaux réactifs liquides.

25

De tels dispositifs présentent vis-à-vis de la technique antérieure de nombreux avantages résultant en particulier du fait qu'il est possible de les immerger dans le métal liquide, de sorte que l'on peut les mettre en service sans qu'il soit nécessaire de les amorcer par un procédé extérieur. En outre la profondeur d'immersion nécessaire pour l'auto-amorçage est beaucoup plus faible que pour une pompe à induction.

30

Par ailleurs la section du corps de pompe est beaucoup moins volumineuse puisque les bobinages peuvent être reportés loin du corps de pompe. En cas de pompage par immersion d'un métal contenu dans un creuset, ou dans une poche le volume immergé est donc beaucoup plus faible, il y a peu de pertes de capacité du volume utile du creuset ou de la poche. De plus les bobinages peuvent être disposés au-dessus du bain et sont plus faciles à protéger contre toute

40 élévation intempestive de leur température. Tous ces avantages concourent à

conférer à ce nouveau type de pompes une aptitude particulière à l'emploi dans le pompage par immersion de métaux liquides réactifs.

Par ailleurs les pompes de ce type sont également capables de compenser une pression métallostatique importante, on peut donc les disposer à la base d'une poche ou d'un creuset et leur faire jouer un rôle régulateur dans l'écoulement du métal à la manière d'une quenouille dans laquelle le mouvement des pièces mécaniques serait remplacé par une variation du courant inducteur.

L'invention sera mieux comprise si l'on se reporte aux exemples de réalisation décrits ci-dessous à titre d'illustrations de l'invention, nullement limitatives, dans lesquels :

- la figure 1 est un schéma de principe d'une pompe électromagnétique à conduction à courant continu ou alternatif.
- les figures 2 et 3 représentent deux structures particulières toutes deux à courant alternatif utilisées fréquemment par la Demanderesse.
- 15 - La figure 4 représente une vue perspective de l'insertion d'une spire conductrice dans le conduit de métal liquide.
- La figure 5 est une coupe d'une réalisation à spire conductrice dotée d'électrodes solides.

Si l'on se reporte à la figure 1 on voit qu'une pompe électromagnétique à conduction comprend en 1 un conduit à travers lequel s'écoule le métal liquide corrosif. On voit en 2 et 2' des éléments du circuit électrique à travers lequel un courant important circule dans une direction perpendiculaire à la direction du flux de métal liquide matérialisée par l'axe 4 et 4' du conduit 1. Le circuit électrique est prolongé à travers le métal liquide par des électrodes 5 et 6 conçues pour établir le contact électrique avec le métal liquide corrosif. Une bobine 7 donne naissance, dans la tranche de métal liquide parcourue par le courant, à une induction magnétique perpendiculaire au courant et à la direction 4-4' du flux de métal liquide. Il apparaît donc dans le milieu conducteur formé par le métal liquide une force perpendiculaire au courant et à l'induction magnétique qui tend donc à mettre le métal liquide en mouvement le long de son conduit suivant la direction 4-4'.

Lorsque la bobine 7 est parcourue par un courant alternatif et qu'il en est de même pour le circuit électrique 2-2', la force qui s'exerce sur le métal liquide ne change pas de sens et continue à pousser le métal dans la même direction dès lors que le courant électrique et l'induction magnétique changent de sens en même temps.

Les figures 2 et 3 représentent les deux types de montage utilisés fréquemment par la Demanderesse. Le schéma 2 correspond au montage où le courant alternatif qui circule à travers le métal liquide est créé par un enroulement secondaire 8 parcouru par un courant en phase avec le courant parcourant la

bobine 7. Le circuit magnétique 9 est le circuit magnétique principal. Le circuit magnétique 10 ou circuit secondaire, induit dans la spire 11 un courant pénétrant dans le conduit 1 du métal liquide par les électrodes 5 et 6. Un tel montage nécessite deux bobines et deux circuits magnétiques complets. Il peut être préférable d'utiliser un montage tel que le montage de la figure 3 dans lequel un seul transformateur 7 crée d'une part une induction magnétique dans le conduit 1 et d'autre part établit dans la spire 11 un courant qui traverse le flux de métal liquide grâce aux électrodes 5 et 6.

Dans les figures 2 et 3, la spire passe deux fois dans le champ magnétique pour compenser la réaction d'induit ce qui a pour effet d'augmenter de façon très sensible l'entrefer et par conséquent la reluctance du circuit magnétique. Dans de nombreuses réalisations la spire conductrice passe au-dessus ou au-dessous du circuit magnétique principal 9, on peut diminuer ainsi fortement l'entrefer.

La figure 4 représente à une plus grande échelle une vue de l'implantation d'une spire conductrice dans la pompe à conduction.

On remarque d'abord un élément du circuit magnétique principal 9; dans l'entrefer 12 de ce circuit magnétique prend place le conduit 1 du métal liquide corrosif. On voit qu'il se présente comme une colonne de section généralement rectangulaire. A l'une des extrémités de l'électrode 5, on note la présence d'un épaulement 13 qui se prolonge verticalement tout le long de la spire conductrice. La spire conductrice peut être un barreau de nickel ou de cuivre. Dans ce dernier cas, le barreau de cuivre doit être protégé de l'oxydation par une enveloppe inoxydable, un tube d'inconel par exemple.

La figure 5 fait mieux comprendre le détail de la structure de la spire solide 11. On retrouve l'épaulement 13 ainsi que les trois autres épaulements 14, 15 et 16. Dans l'exemple de réalisation, la spire reliant les électrodes est constituée par un barreau de cuivre 19. Initialement ce barreau est choisi cylindrique, il est introduit dans un tube en inconel 28. Après étirage pour obtenir un conducteur plat, l'ensemble est laminé. Par cette méthode il est possible également d'obtenir un conducteur de cuivre séparé de l'inconel par une couche d'oxyde, tel par exemple que l'alumine ou l'oxyde de magnésium, ce qui facilite les dilatations différentielles entre le cuivre et l'inconel.

Les électrodes 5 et 6 sont constituées en un métal ayant très sensiblement le même coefficient de dilatation que le matériau réfractaire dans lequel elles sont enrobées. La Demanderesse a choisi de réaliser les électrodes en molybdène. Elle a également construit de telles électrodes en d'autres métaux tels que par exemple l'alliage molybdène-tungstène. Pour réaliser la soudure avec la spire de cuivre il est nécessaire de déposer au préalable sur la tranche 17 de l'électrode une couche de nickel. La partie de l'électrode 18, qui

demeure en contact avec le métal liquide corrosif doit être revêtue d'une couche assurant une excellente conductivité électrique et elle doit être facilement mouillable par le métal liquide. Elle doit en outre avoir une excellente adhérence avec l'électrode et une grande insensibilité aux métaux corrosifs liquides utilisés. Une étude prolongée a permis à la Demanderesse de déterminer que des composés tels que les diborures de molybdène, de titane, de zirconium et de tungstène ainsi que l'aluminiure de titane donnent satisfaction. Dans l'exemple de réalisation, le revêtement a été constitué en diborure de molybdène. Le reste de l'électrode doit être recouvert d'un revêtement l'isolant de l'oxydation de l'air et assurant un bon contact avec le matériau réfractaire.

La Demanderesse a utilisé à cette fin le nickel, l'aluminiure de titane et enfin des produits commerciaux existants sur le marché français tels que le Revetox de la firme française CERAVER.

Les revêtements des tranches 17 et 18 de l'électrode peuvent être réalisés par exemple soit par voie gazeuse, soit dans un lit fluidisé de plasma. Les pièces ainsi réalisées sont ensuite enrobées dans une masse de matière réfractaire 21 qui a été réalisée à titre expérimental avec diverses céramiques telles que l'alumine, le zircone, la magnésie, les titanates d'aluminium, de magnésium, et divers zirconates et aluminate.

Un deuxième exemple de réalisation concerne la pompe dans laquelle la spirale conductrice est réalisée au moyen du métal liquide lui-même tandis que l'électrode peut être formée comme dans le cas précédent de molybdène ou de tungstène protégée mais elle peut être avantageusement réalisée au moyen d'un réfractaire poreux ou d'une structure frittée poreuse de réfractaire.

Afin d'assurer une conductibilité satisfaisante à travers cette électrode ainsi qu'une mouillabilité parfaite de l'électrode par le métal liquide, la Demanderesse a imaginé d'imprégner l'électrode au préalable au moyen d'un des métaux à faire circuler dans la pompe ou au moins d'un métal qui se dissoudra ensuite facilement dans le métal fondu. La Demanderesse a essayé avec succès une imprégnation par l'aluminium à condition que celui-ci soit le métal à véhiculer par la suite, ainsi qu'une imprégnation par l'étain et le cuivre facilement miscibles avec les métaux à véhiculer à l'état liquide.

Le procédé utilisé pour l'imprégnation d'une telle électrode est le suivant: On porte le produit poreux sous vide et on le mouille à température élevée avec du métal liquide. Il est important d'utiliser une température très élevée juste inférieure à la température de vaporisation du métal liquide afin de l'utiliser à l'état le plus fluide possible. Puis l'électrode est imprégnée sous pression du même métal liquide.

Pour mouler le circuit de la spire, on peut prendre un tuyau de faible épaisseur du même métal que celui qui sera véhiculé par la pompe la première fois. Le

tuyau est formé aux dimensions extérieures de la spire. Il est noyé dans le matériau réfractaire, fondu au premier fonctionnement de la pompe et entraîné par vidange de la spire lorsque celle-ci est retirée du bain de métal liquide.

Bien que les dispositifs qui viennent d'être décrits paraissent parmi les plus avantageux pour la mise en oeuvre de l'invention, on comprendra que diverses modifications puissent lui être apportées sans sortir du cadre de l'invention, certains éléments pouvant être remplacés par d'autres susceptibles d'y assurer la même fonction technique.



## REVENDEICATIONS

- 1/ - Pompe à conduction de faible encombrement pour métaux corrosifs liquides dans laquelle une tranche du flux de métal liquide traversée par un courant électrique perpendiculaire à la direction dudit flux est soumise à une force électromagnétique résultant de l'action de ce courant et d'une induction magnétique orientée perpendiculairement à la direction du courant électrique et à la direction du flux de métal liquide caractérisée en ce que la tranche du flux de métal liquide active est délimitée sur deux côtés opposés par des électrodes résistant à la corrosion et permettant le passage du courant électrique et sur ses autres côtés par le matériau réfractaire constituant le conduit, coulé ou usiné au moment de la construction de la pompe.
- 2/ - Pompe à conduction de faible encombrement pour métaux liquides corrosifs selon la revendication 1 dans laquelle l'induction magnétique à laquelle est soumise la tranche de flux de métal liquide est produite dans un circuit magnétique principal contenant une bobine parcourue par un courant alternatif caractérisée en ce que le courant électrique, traversant la tranche du flux de métal liquide, est induit grâce à un circuit magnétique secondaire dans une spire conductrice reliée électriquement aux électrodes.
- 3/ - Pompe à conduction de faible encombrement pour métaux liquides corrosifs selon la revendication 2, caractérisée en ce que la bobine inductrice du circuit magnétique principal et la bobine inductrice du circuit magnétique secondaire sont disposées toutes deux à une extrémité de leurs circuits magnétiques respectifs éloignée de la spire conductrice et des électrodes de la pompe.
- 4/ - Pompe à conduction de faible encombrement pour métaux liquides corrosifs selon la revendication 3, caractérisé en ce que la spire conductrice est constituée en un métal conducteur, tandis que les électrodes auxquelles la spire est reliée électriquement sont formées d'un métal ayant un coefficient de dilatation très voisin de celui des matériaux réfractaires limitant au moins l'un des côtés du conduit du flux de métal liquide.
- 5/ - Pompe à conduction de faible encombrement pour métaux liquides corrosifs selon la revendication 4, caractérisée en ce que le métal conducteur est enfermé dans une gaine réalisée par exemple en inconel le protégeant de l'oxydation.
- 6/ - Pompe à conduction de faible encombrement pour métaux corrosifs selon la revendication 4, caractérisée en ce que le matériau utilisé pour former les électrodes est un métal ou un alliage de métaux du groupe VI de la classification périodique des éléments.
- 7/ - Pompe à conduction de faible encombrement pour métaux corrosifs selon la revendication 6, caractérisée en ce que chaque électrode est revêtue d'une couche d'un diborure d'un métal du groupe IV ou du groupe VI de la classification des éléments périodiques du côté où elle entre en contact avec le métal liqui-

de corrosif.

- 8/ - Pompe à conduction de faible encombrement pour métaux corrosifs selon la revendication 6, caractérisée en ce que chaque électrode est revêtue d'une aluminiure d'un métal du groupe IV des métaux de la classification périodique des éléments du côté où elle entre en contact avec le métal liquide corrosif.
- 5 9/ - Pompe à conduction de faible encombrement pour métaux corrosifs selon la revendication 6, caractérisée en ce que chaque électrode est revêtue de nickel du côté où elle est en contact électrique avec la spire conductrice.
- 10 10/ - Pompe à conduction de faible encombrement pour métaux corrosifs selon la revendication 6, caractérisée en ce que chaque électrode est revêtue sur les côtés qui n'entrent pas en contact avec le métal liquide, ni avec la spire conductrice, d'une couche d'une aluminiure d'un métal du quatrième ou du sixième groupe des métaux de la classification périodique ou d'un métal difficilement oxydable dans sa masse tel que le nickel.
- 15 11/ - Pompe à conduction de faible encombrement pour métaux corrosifs selon la revendication 2, caractérisée en ce que la spire conductrice est constituée du métal liquide corrosif véhiculé par pompe.
- 20 12/ - Pompe à conduction de faible encombrement pour métaux corrosifs selon la revendication 11, caractérisé en ce que les électrodes sont constituées d'un métal ou d'un alliage de métaux faisant partie des métaux du groupe VI de la classification périodique des éléments.
- 25 13/ - Pompe à conduction de faible encombrement pour métaux corrosifs selon la revendication 12, caractérisée en ce que l'électrode est protégée du contact avec le métal liquide corrosif grâce à une couche d'un diborure de métal du IV<sup>e</sup> ou du VI<sup>e</sup> groupe de la classification des éléments périodiques.
- 30 14/ - Pompe à conduction de faible encombrement pour métaux corrosifs selon la revendication 12, caractérisée en ce que les électrodes sont revêtues sur plusieurs côtés d'une aluminiure d'un métal du quatrième ou du sixième groupe de métaux de la classification périodique.
- 35 15/ - Pompe à conduction de faible encombrement pour métaux corrosifs selon la revendication 11, caractérisée en ce que les électrodes auxquelles la spire est reliée électriquement sont constituées d'un matériau réfractaire poreux imprégné du métal liquide corrosif.
- 16/ - Pompe à conduction de faible encombrement pour métaux corrosifs selon la revendication 2, caractérisée en ce que la spire est constituée en un métal conducteur gainé d'une couche métallique protectrice tandis que les électrodes auxquelles la spire est reliée électriquement grâce à une couche métallique de liaison sont constituées par un matériau réfractaire poreux imprégné de métal liquide corrosif.

FIG. 1

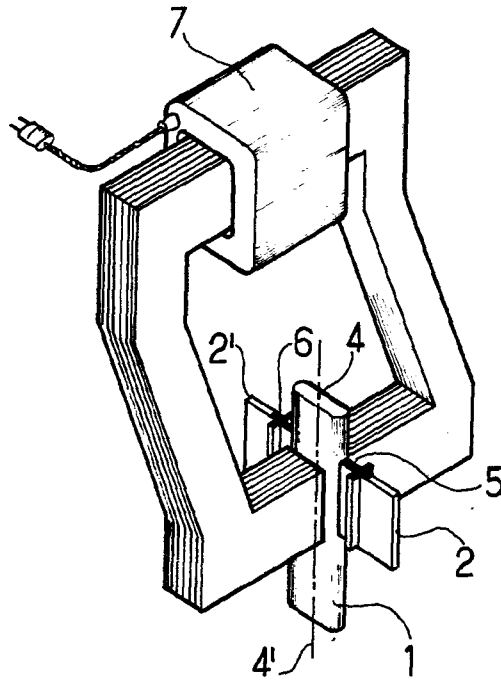
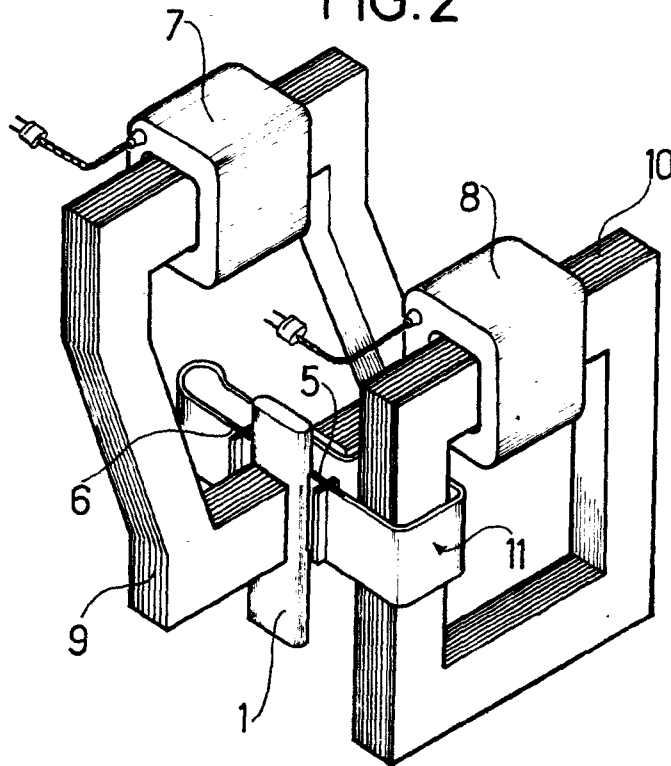


FIG. 2



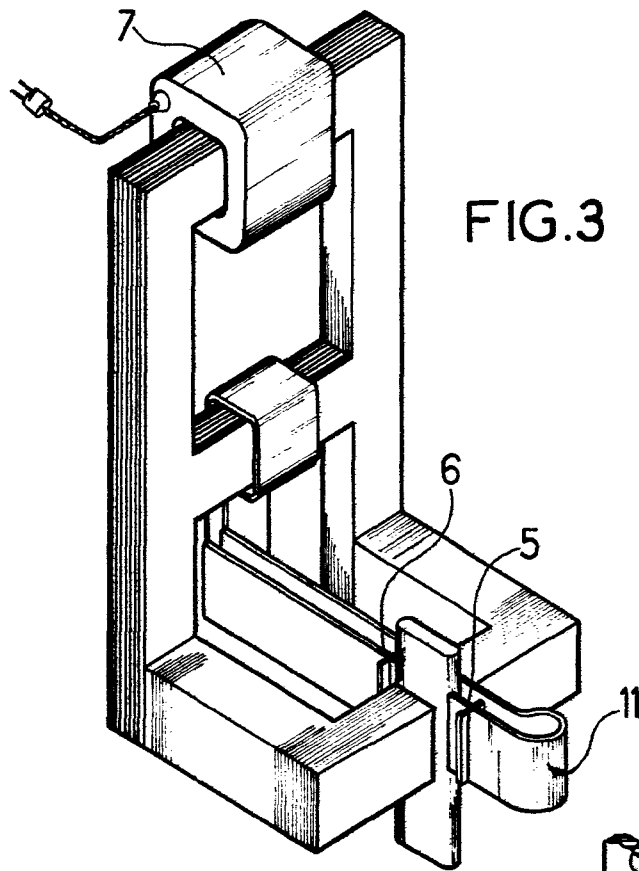


FIG. 3

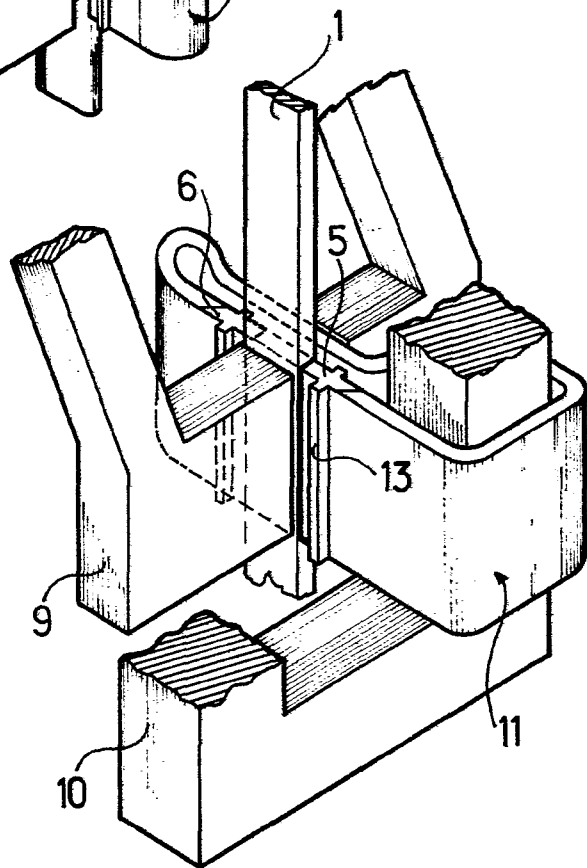


FIG. 4

FIG.5

