

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

(11) N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

2 534 692

(21) N° d'enregistrement national :

82 17296

(51) Int Cl<sup>3</sup> : G 01 R 33/00, 19/00.

(12)

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 15 octobre 1982.

(30) Priorité

(71) Demandeur(s) : Société dite : THOMSON-CSF. — FR.

(43) Date de la mise à disposition du public de la  
demande : BOPI « Brevets » n° 16 du 20 avril 1984.

(60) Références à d'autres documents nationaux appa-  
rentés :

(72) Inventeur(s) : Jean-Pol Levan et Grégoire Eumurian.

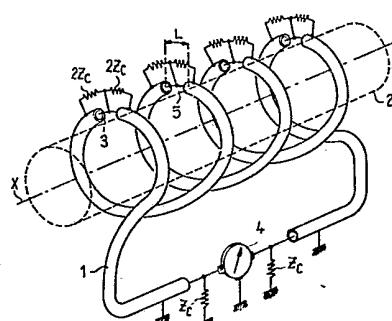
(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : Philippe Guilguet.

(54) Dispositif capteur de champ magnétique alternatif à haute sensibilité et à large bande, et appareil de mesure  
l'utilisant.

(57) Dispositif permettant d'accroître les performances notamment  
des points de vue sensibilité et bande de fréquence.

Il comporte un bobinage hélicoïdal 1 en structure coaxiale,  
adaptée aux extrémités de raccordement à un appareil de  
mesure annexe 4. A chaque spire une portion démunie du  
conducteur extérieur 3 est ménagée et équipée d'éléments  
d'adaptation à la valeur d'impédance caractéristique  $Z_c$  pour  
compenser les ruptures ainsi causées.



FR 2 534 692 - A1

D

## I

DISPOSITIF CAPTEUR DE CHAMP MAGNETIQUE ALTERNATIF,  
 A HAUTE SENSIBILITE ET A LARGE BANDE, ET  
 APPAREIL DE MESURE L'UTILISANT.

La présente invention concerne un dispositif capteur de champ magnétique alternatif, à haute sensibilité et à large bande permettant de réaliser un appareil de mesure performant.

Le développement des transmissions électromagnétiques a entraîné un élargissement des fréquences tant du côté des fréquences basses (quelques 10 Hz pour les transmissions sous-marines), que des fréquences élevées (plusieurs dizaines de gigahertz pour les transmissions par satellites).

La plupart des capteurs de champ magnétique ne couvrent chacun qu'une gamme de fréquence réduite, quelques octaves dans le meilleurs des cas.

On voit donc l'intérêt d'un capteur à très large bande permettant d'une part de remplacer plusieurs capteurs à bande étroite et, d'autre part, de saisir un phénomène dont le spectre instantané de fréquence est très étendu. Ce type de capteur autorise également l'étude de phénomènes transitoires (parasites, perturbations atmosphériques, foudroiements etc.) dont le spectre de fréquence n'est pas toujours connu a priori, d'où la nécessité de chercher le phénomène dans la bande passante la plus large possible.

Les mesures de champ magnétique H peuvent se faire avec des capteurs utilisant plusieurs techniques dont l'effet Hall et l'induction d'une tension dans un conducteur selon la loi de Lorenz.

Les senseurs à effet Hall sont limités en fréquence à quelques mégahertz. Par contre la limitation en fréquence des senseurs utilisant l'induction magnétique ne vient que de la constitution et de la géométrie du capteur.

La tension induite dans un bobinage est proportionnelle à la fréquence du phénomène, à la section totale du bobinage et au nombre de spires. Pour obtenir une bonne sensibilité aux fréquences basses, il est donc nécessaire d'augmenter la section ainsi que le nombre de spires. Par contre, pour élargir la réponse aux fréquences élevées il faut que le bobinage ait de faibles capacités parasites et donc un nombre de spires réduit, et que les dimensions du capteur soient faibles devant la longueur d'onde correspondant à la fréquence la plus élevée. Par ailleurs, pour obtenir une bonne réjection du champ électrique  $E$ , le bobinage doit être blindé ce qui augmente les capacités parasites et limite d'autant la réponse en fréquence.

Il s'avère par suite difficile de réaliser un capteur ayant une large bande passante et une bonne sensibilité aux fréquences basses.

Le cadre blindé est une solution connue qui se présente sous la forme d'une bobine plate blindée. Le blindage est fendu afin qu'il ne constitue pas une boucle en court-circuit qui absorberait la quasi-totalité du champ magnétique par courants de Foucault induits. Un tel dispositif capteur de champ magnétique peut être optimisé soit pour une bonne sensibilité aux fréquences basses (grand diamètre, grand nombre de spires), soit pour une réponse aux fréquences élevées (faible diamètre, faible nombre de spires). La première optimisation conduit à une mauvaise réponse aux fréquences élevées (fréquence de résonance trop basse), la deuxième optimisation entraîne une limitation de la sensibilité aux fréquences basses (section totale du bobinage trop réduite).

La boucle de Moebius est une autre solution connue qui est constituée de deux demi-boucles réalisées avec du câble coaxial, montées en série en connectant le conducteur central de l'une avec la gaine de l'autre et vice versa. Ce montage présente une réponse aux fréquences élevées beaucoup plus étendue que celle d'un cadre blindé classique. La structure étant coaxiale et adaptée en sortie, la limitation aux fréquences élevées n'apparaît pas tant que la longueur d'onde reste nettement plus grande que le diamètre. La sensibilité aux fréquences basses correspond à celle d'un cadre de mêmes dimensions et comportant deux spires, donc faible.

Aucun de ces deux dispositifs connus ne permet donc d'obtenir à la fois une réponse en fréquence étendue et une bonne sensibilité aux fréquences basses.

Le but de l'invention est de remédier aux inconvénients et 5 limitations des solutions précitées tout en procurant un capteur plus performant par le fait qu'il en cumule les avantages.

Le dispositif capteur proposé est constitué d'un bobinage effectué à l'aide d'une ligne (coaxial, strip line ou ligne à ruban, etc.) dont l'impédance caractéristique est constante et connue, à 10 chaque spire le conducteur extérieur formant blindage est interrompu pour éviter de créer des boucles en court-circuit. L'effet de la rupture d'impédance due à chacune de ces coupures de conducteur extérieur est compensé par une adaptation correspondante obtenue par le branchement entre les conducteurs internes et externes d'un 15 réseau correspondant à l'impédance caractéristique de la ligne utilisée pour le bobinage. La sensibilité au champ électrique due à l'interruption périodique de blindage est réduite par un blindage supplémentaire localisé au niveau de chaque coupure. La sortie de la bobine se fait en différentiel avec adaptation d'impédance aux deux 20 extrémités. En outre, pour augmenter la sensibilité de ce dispositif capteur tout en gardant des dimensions réduites, un noyau magnétique peut être placé à l'intérieur du bobinage.

Selon l'invention telle que revendiquée, il est proposé un 25 dispositif capteur de champ magnétique utilisant une ligne d'impédance caractéristique constante, en structure coaxiale, comportant une spire démunie de son conducteur externe sur une portion de la ligne, et avec des premiers moyens d'adaptation à ladite impédance caractéristique prévus aux extrémités de sortie de la ligne destinées à être raccordée à un appareil de mesure du courant induit, le 30 dispositif capteur étant caractérisé par le fait que la ligne se compose d'une pluralité de spires formant un bobinage dont chaque spire comporte également une portion démunie du conducteur extérieur et chacune de ces portions étant dotée de second moyens d'adaptation pour compenser la rupture d'adaptation créée par ces 35 interruptions de ligne coaxiale.

Les particularités et avantages de la présente invention apparaîtront dans la description qui suit donné à titre d'exemple non limitatif à l'aide des figures annexées qui représentent :

- Fig. 1, un dispositif capteur selon l'invention réalisé en ligne coaxiale ;
- 5 - Fig. 2, un détail du montage de la Fig. 1 montrant des éléments d'adaptation et la possibilité de blindage ;
- Fig. 3 à Fig. 5, des variantes de réalisation des adaptations aux interruptions de ligne ;
- 10 - Fig. 6, un dispositif capteur conforme à l'invention, réalisé en circuit imprimé souple ;
- Fig. 7, une partie de la structure développée du circuit imprimé selon la Fig. 6 ;
- 15 - Fig. 8, un dispositif capteur conforme à l'invention réalisé en circuit imprimé sur une structure rigide ;
- Fig. 9, un détail de la réalisation selon Fig. 8 montrant la mise en place d'éléments d'adaptation.

En se reportant à la Fig. 1, le dispositif capteur est réalisé avec une ligne d'impédance caractéristique constante en câble coaxial qui peut être souple, semi-rigide ou rigide. Cette ligne comporte une pluralité de spires et forme un bobinage hélicoïdal. Il peut être obtenu par enroulement du câble 1 sur un mandrin cylindrique 2 comportant ou non un noyau magnétique, selon la sensibilité et la réponse en fréquence désirée. A chaque spire, le conducteur externe 3 du coaxial est interrompu sur une portion de la ligne en sorte d'éviter que le blindage 3 ne forme une spire en court-circuit qui serait le siège de courants de Foucault. Les portions dénudées sont régulièrement situées le long de la ligne à des écartements correspondant à la longueur d'une spire, le bobinage formant une hélice régulière autour d'un cylindre droit et les portions dénudées étant alignées parallèlement à l'axe du cylindre.

30 Les extrémités de la ligne sont adaptées et connectées à un appareil annexe 4 de mesure de courant alternatif pour mesurer le courant induit par le champ magnétique dans le bobinage capteur.

En appelant de manière conventionnelle  $Z_c$  l'impédance caractéristique de la ligne, cette adaptation peut s'effectuer avec des éléments discrets comme figurés, en général des éléments purement resistifs de valeur  $Z_c$ . D'autres moyens d'adaptation sont prévus à 5 chaque portion démunie de blindage pour compenser la rupture d'impédance correspondante et préserver l'adaptation de la ligne. Ceci peut s'effectuer avec une ou plusieurs impédances dont la valeur équivalente est égale à l'impédance caractéristique  $Z_c$  du câble. Dans l'exemple représenté chaque portion comporte deux 10 éléments discrets de valeur  $2Z_c$  chacun, reliant respectivement le conducteur central 5 dans cette portion au blindage extérieur 3 à chaque extrémité de câble aboutissant à cette portion.

Pour accroître la rejetion du champ électrique, les portions dégagées par interruption du blindage 3, ainsi que les impédances 15 d'adaptation rapportées peuvent être blindées localement.

La Fig. 2 montre une réalisation correspondante à l'endroit d'une zone dégagée de blindage externe 3, les résistances d'adaptation  $R_1$  et  $R_2$  ont pour valeur  $2Z_c$  et sont disposées ainsi que la zone en question à l'intérieur d'un manchon métallique 6. Une plaque 20 ou écran métallique 7 constituant un conducteur à faible impédance est utilisé pour connecter chacun des manchons tel que 6 à la masse, c'est-à-dire au conducteur extérieur 3. Cette connexion ne peut en effet s'effectuer vers la partie dénudée car on reproduirait avec le blindage 6 et le conducteur 3 proche une spire en court-circuit ; la 25 connexion est effectuée avantageusement avec le point diamétralement opposé car le plus éloigné du manchon. La plaque 6 est soudée en A au manchon et à l'opposé aux points de soudure B et C avec la gaine extérieure 3 du câble.

La Fig. 3 montre en coupe une variante de réalisation de 30 l'adaptation utilisant des éléments coaxiaux intégrés à la structure de la ligne sous forme de deux résistances coaxiales  $R_3$  et  $R_4$  chacune de valeur  $2Z_c$ . Ces éléments résistifs sont de type connu, et utilisés pour constituer des résistance de charge terminale pour lignes coaxiales.

D'autres variantes sont possibles dont deux sont représentées sur la Fig. 4 et la Fig. 5 utilisant un seul élément résistif soit conventionnel R5, soit en structure coaxiale R6 ; l'élément est connecté entre le conducteur central 5 et la masse, cette dernière connexion s'effectuant par le biais de la plaque métallique 7. L'élément R5 ou R6 a pour valeur Zc.

Dans les montages décrits à plaque médiane 7 si l'on désire placer un noyau en matériau magnétique à l'intérieur du bobinage 1, il sera nécessaire de diviser ce noyau en deux parties disposées de 10 part et d'autre de l'écran 7.

Il n'a pas été question dans ce qui précède de l'isolant 8 (Fig. 3) entre les conducteurs 3 et 5, ce milieu isolant est à ôter car il gênerait pour la soudure de résistances conventionnelles (Figs. 1,2,4), et ne permettrait pas la mise en place de résistance 15 coaxiales (Figs.3,5).

Il peut être remarqué que le capteur selon l'invention peut tout aussi bien être défini par un pluralité d'éléments de ligne coaxiale connectés bout à bout pour relier leur conducteur central, chaque élément ayant la forme d'une spire et une longueur un peu inférieure 20 à celle d'une spire pour ménager à chaque fois une portion de ligne dénudée du blindage. 3.

D'autres modes de réalisation d'un dispositif de champ magnétique conforme à l'invention sont envisageables en utilisant les lignes en ruban obtenues selon des techniques de circuits imprimés, 25 ou similaires.

Les Figs. 6 et 7 se rapportent à des réalisations avec une ligne en ruban (dite strip-line en anglo-saxon) portée par un support isolant souple ou rigide. La bobine contient ou non un noyau magnétique suivant la sensibilité et la réponse en fréquence désirée. 30 A chaque spire le conducteur externe de la ligne (blindage) est

interrompu. A chaque rupture d'impédance correspondante, la ligne est adaptée par une ou plusieurs impédances dont la valeur équivalente est égale à l'impédance caractéristique de la ligne. Ces impédances peuvent être réalisées soit en éléments discrets, soit à l'aide d'une pâte résistive. Les parties dégagées de la ligne, suite à l'interruption du blindage, ainsi que les impédances rapportées peuvent faire l'objet également d'un blindage pour accroître la réjection du champ électrique.

La Fig. 6 représente un dispositif réalisé à partir d'un circuit imprimé souple enroulé 11.

Ce circuit double face comporte, sur une face le plan de masse 13 correspondant au blindage de la ligne et, sur l'autre, une série de pistes parallèles 15 formant avec le plan de masse les différents segments de ligne à ruban (strip-line).

Les résistances d'adaptation R11, R12, etc... sont placées aux extrémités des pistes, les liaisons avec le plan de masse étant réalisées avec des trous métallisés, tel que 12. Après câblage de ces résistances, on enroule le circuit montré en partie à plat sur la Fig. 7 pour obtenir la disposition de la Fig. 6, c'est-à-dire un cylindre mais en ménageant un espace L entre les bords venant en vis à vis. Des moyens de maintien non figurés sont prévus (colliers d'extrémité, mandrin, etc...). La continuité de la ligne est assurée en reliant par des bouts de conducteurs 19 les extrémités des spires 15 les unes aux autres pour former une hélice continue. Le plan de masse 13 qui se trouve à l'extérieur, reste ainsi interrompu pour éviter de créer une spire en court-circuit. La réjection du champ électrique est améliorée par un écran situé au dessus de la fente et raccordée à la masse par une liaison appropriée.

La Fig. 8 représente un dispositif capteur réalisé à partir d'un tube cylindrique rigide 28 en matériau diélectrique. Ce tube est initialement métallisé par un dépôt sur sa surface extérieure ainsi que sur sa surface intérieure. Le revêtement métallique extérieur va constituer le blindage 23 de la ligne à ruban. L'interruption de ce blindage pour ménager les différentes portions de largeur L est

obtenu par usinage (fraisage, abrasion, gravure chimique, etc...). Le dépôt interne forme le ruban 25 après usinage, tel un fraisage hélicoïdal qui enlève les parties métalliques inutiles.

La Fig. 9 de détail montre sur une coupe transversale le 5 montage de résistances d'adaptation. Ces éléments situés à chaque spire à l'endroit de la fente correspondant aux portions démunies de blindage sont raccordées au ruban hélicoïdal 25 par une série de trous métallisés 22 situés à l'emplacement de la fente. Les résistances d'adaptation peuvent être soit des résistances discrètes entre les 10 trous métallisés et le blindage, soit un dépôt de pâte résistive ajusté pas sablage, laser, etc...

Un écran placé au dessus de la fente et relié à la masse par une liaison appropriée améliore la réjection du champ électrique.

## REVENDICATIONS

1. Dispositif capteur de champ magnétique utilisant une ligne d'impédance caractéristique constante (1), en structure coaxiale, comportant une spire démunie de son conducteur externe (3) sur une portion de la ligne, et avec des premiers moyens d'adaptation à 5 ladite impédance caractéristique ( $Z_c$ ) prévus aux extrémités de sortie de la ligne destinées à être raccordées à un appareil de mesure (4) du courant induit, le dispositif capteur étant caractérisé par le fait que la ligne se compose d'une pluralité de spires formant un bobinage dont chaque spire comporte également une portion démunie du conducteur extérieur (3) et chacune de ces portions étant dotée de second moyens d'adaptation ( $R_1, R_2...$ ) pour compenser la 10 rupture d'adaptation créée par ces interruptions des lignes coaxiales.
2. Dispositif capteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que les portions dénudées sont régulièrement situées le long de la 15 ligne à des écartements correspondant à la longueur d'une spire, le bobinage formant une hélice régulière autour d'un cylindre droit et les portions dénudées étant alignées parallèlement à l'axe (X) du cylindre.
3. Dispositif capteur selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que les second moyens d'adaptation sont des éléments résistifs 20 discrets rapportés ( $R_1, R_2$ ), ou intégrés ( $R_3, R_4$ ).
4. Dispositif capteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le bobinage entoure un noyau magnétique (2).
- 25 5. Dispositif capteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que des moyens de blindage sont prévus à l'endroit des portions démunies du conducteur extérieur afin d'accroître la réjection du champ électrique.
6. Dispositif capteur selon la revendication 5, caractérisé en ce que le blindage est formé par un manchon (6) qui entoure la 30 ligne (1) en câble coaxial à l'endroit de chaque portion et que les

manchons sont raccordés à la masse par un écran métallique constituant un conducteur à faible impédance et qui permet de relier ces manchons au conducteur extérieur en des points (B,C) diamétralement opposés de ceux (A) de liaison au manchon.

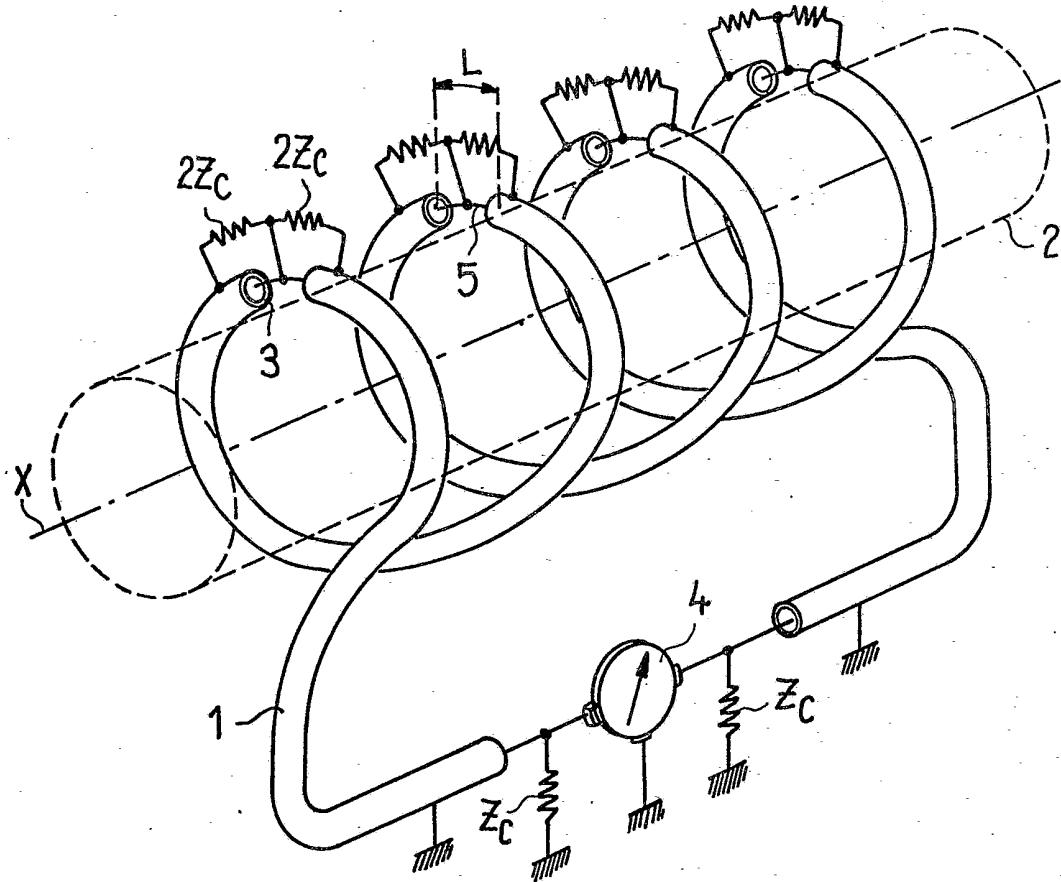
5 7. Dispositif capteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que la ligne est formée à partir d'un câble coaxial (1).

10 8. Dispositif capteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que la ligne est une ligne à ruban formée à partir d'un circuit imprimé souple (11) double face, enroulé avec la gravure des spires (15) interne et le plan de masse (13) externe, un espace (L) étant ménagé entre les bords en vis à vis avec des éléments de conducteurs (19) assurant la continuité des spires dans cet espace.

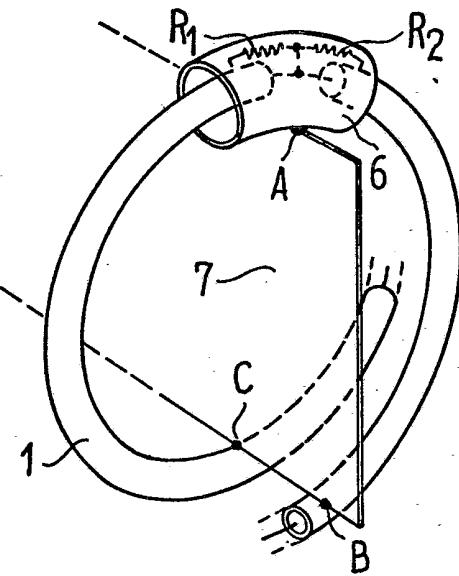
15 9. Dispositif capteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que la ligne est une ligne à ruban formée à partir d'un tube cylindrique rigide en matériau diélectrique (28) métallisé extérieurement (23) pour constituer le conducteur extérieur et avec usinage d'une fente pour ménager les dites 20 portions, les spires (25) étant obtenues par usinage d'une métallisation interne.

25 10. Utilisation d'un dispositif capteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, pour réaliser un appareil de mesure de champ magnétique alternatif, caractérisée en ce qu'elle englobe le capteur et l'appareil de mesure de courant (4) branché entre les bornes de sortie de la ligne d'impédance caractéristique constante (1, 11, 21).

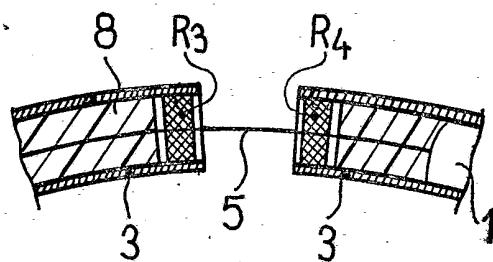
1/3  
FIG\_1

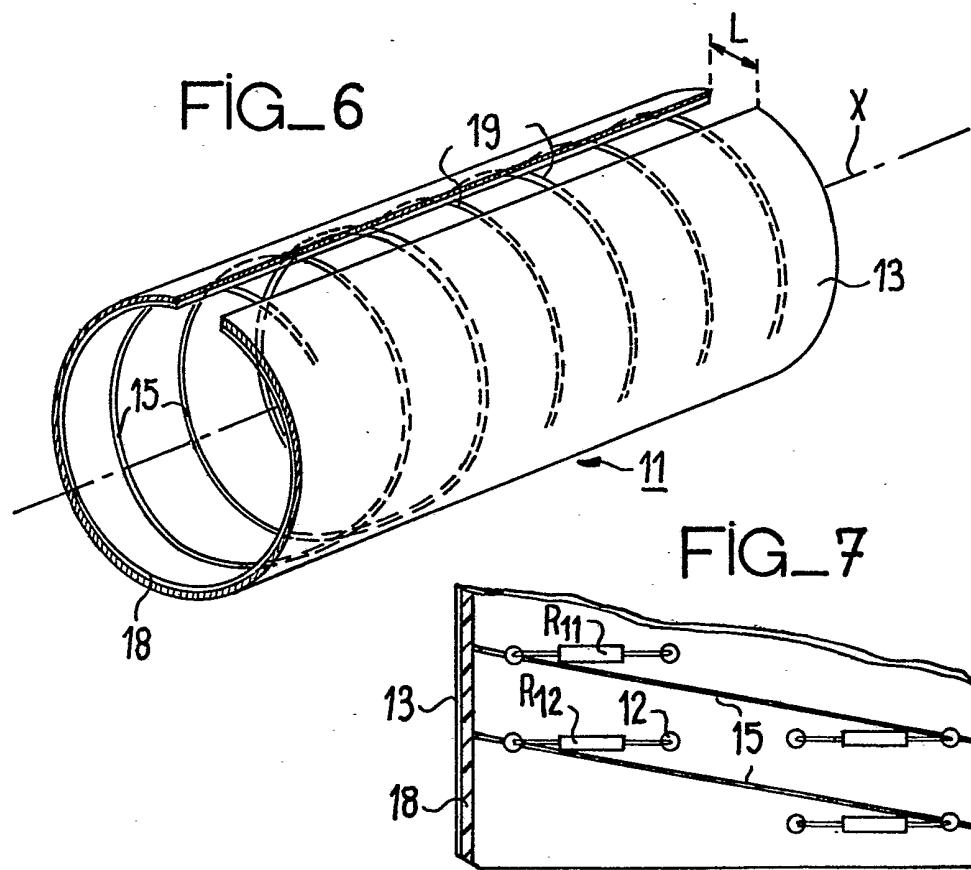
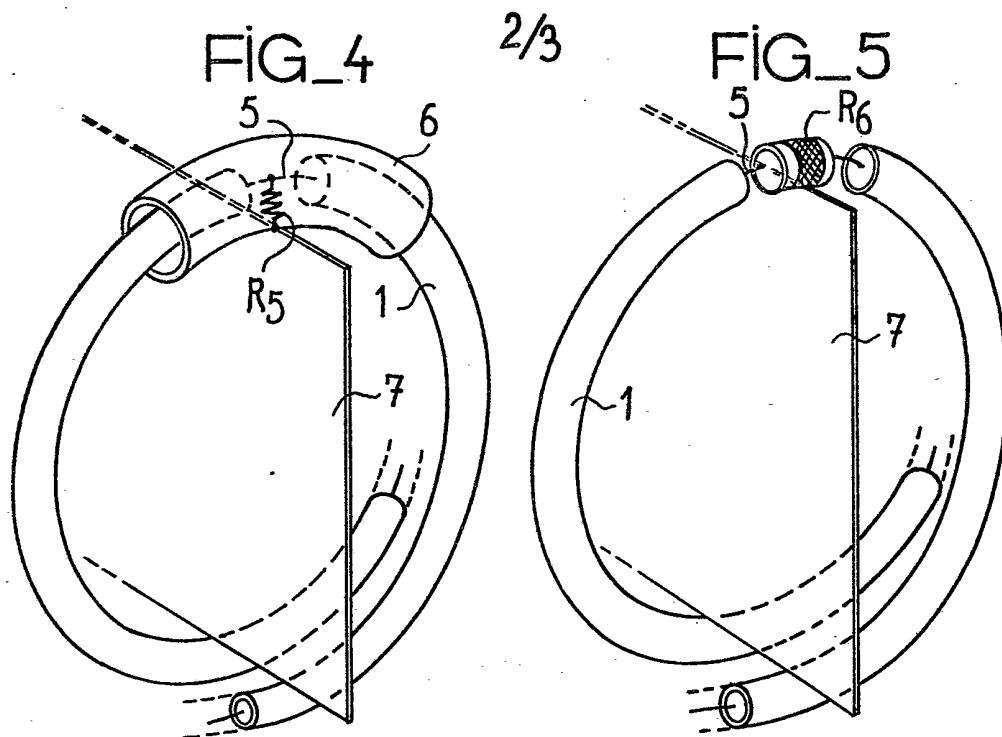


FIG\_2



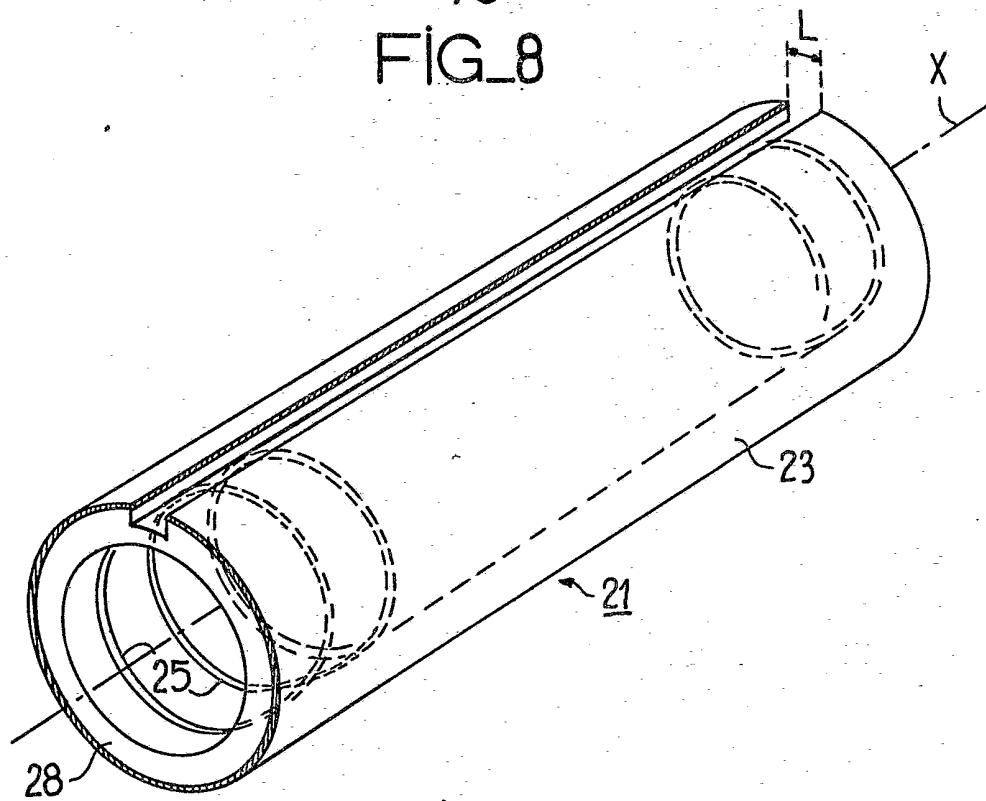
FIG\_3





3/3

FIG\_8



FIG\_9

