

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

⑫

N° 80 20796

⑮ Procédé de mesure magnétostrictive pour la mesure du moment de rotation et dispositif pour la mise en œuvre de ce procédé.

⑯ Classification internationale (Int. Cl.³). G 01 L 1/12, 3/10; G 01 P 3/44.

⑰ Date de dépôt..... 26 septembre 1980.

⑱ ⑳ ㉑ Priorité revendiquée : RFA, 29 septembre 1979, n° P 29 39 566.2.

㉒ Date de la mise à la disposition du public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 15 du 10-4-1981.

㉓ Déposant : ZAHNRADFABRIK FRIEDRISCHSHAFEN AG, résidant en RFA.

㉔ Invention de : Wolfgang Maier, Hans-Dieter Horter et Herbert Seibold.

㉕ Titulaire : *idem* ㉓

㉖ Mandataire : Roland Nithardt, ingénieur-conseil en propriété industrielle,
12, rue du 17-Novembre, 68100 Mulhouse.

La présente invention concerne un procédé de mesure magnétostrictive pour la mesure du moment de rotation d'arbres d'entraînement au moyen d'un appareil de mesure, dans lequel on induit un champ magnétique au moyen d'une tension oscillante appliquée à des bobines excitatrices primaires, et dans lequel on mesure la conductivité magnétique, variable en fonction des contraintes mécaniques, des bobines réceptrices secondaires.

Un procédé de mesure magnétostrictive et un dispositif pour la mise en oeuvre de ce procédé ont été décrits dans la revue "Maschinenmarkt" de l'année 1972, pages 38 à 41. Selon ce procédé, on exploite le fait que la perméabilité du matériau utilisé pour la réalisation de l'arbre d'entraînement se modifie lorsqu'il est soumis à des contraintes mécaniques. Pour mesurer ces variations, on dispose des bobines fixes équipées de pièces polaires autour de la périphérie de l'arbre, et on utilise la variation du flux magnétique à l'intérieur des bobines secondaires pour déterminer le moment de rotation. On a constaté qu'il était particulièrement avantageux d'utiliser un toreducteur annulaire comportant au moins trois pôles annulaires pour effectuer cette mesure. La bague centrale sert de primaire, de pôle annulaire de magnétisation et est alimentée de façon conventionnelle par le réseau. Les deux anneaux extrêmes servent de pôles secondaires et leurs bobines, enroulées en sens opposé, sont connectées en série.

Si l'arbre n'est pas en charge et n'est soumis à aucune contrainte intérieure, le champ magnétique, entre les différents pôles de magnétisation primaires, est symétrique, de sorte que les lignes de potentiel nul sont disposées symétriquement au milieu, sous les pôles secondaires. Le flux secondaire et la tension secondaire sont nuls lorsque l'arbre n'est pas en charge.

Si l'arbre est en charge, des tensions principales apparaissent à la surface de l'arbre, respectivement à + et - 45° par rapport à l'axe de torsion. La perméabilité augmente dans la direction de la traction, tandis qu'elle diminue dans la direction de la compression. Les flux magnétiques, résultant des pôles secondaires, induisent une tension de sortie, fonction du couple de rotation, dans les bobines connectées en série.

Toutefois, ce procédé de mesure présente différents inconvénients. Il apparaît des dispersions importantes pour une manifestation relativement faible des effets magnétostrictifs dus aux traitements thermiques, en particulier la trempe des arbres d'entraînement leur permettant de supporter des contraintes mécaniques élevées. De ce fait, le recours à un processus de durcissement indispensable des arbres d'entraînement rend pratiquement inutilisable l'application du procédé de mesure magnétostrictive.

Un autre inconvénient du dispositif selon l'art antérieur est dû à l'encombrement important et à une consommation relativement élevée, du fait

que l'on ne peut que réaliser des densités de flux magnétiques, dont l'hysté-
rises et la linéarité sont maintenus dans des limites satisfaisantes dans le
domaine des techniques de mesure.

5 C'est pourquoi le but de la présente invention est de réaliser un
procédé de mesure magnétostrictive pour la mesure de moments de rotation, ainsi
qu'un dispositif pour la mise en oeuvre de ce procédé susceptible de pallier
les inconvénients susmentionnés.

10 Ce but est atteint en ce que le procédé selon l'invention est ca-
ractérisé en ce que l'arbre de transmission du couple, utilisé pour effectuer
des mesures, peut être réalisé en métal ou en matière synthétique, et en ce
qu'il est enrobé, revêtu ou traité en surface de telle manière que sa surface
périphérique présente une perméabilité de surface homogène et élevée.

Les formes de réalisations particulièrement avantageuses du dispo-
sitif selon l'invention sont décrites dans les sous-revendications.

15 Le procédé et le dispositif selon l'invention présentent de nom-
breux avantages :

- Par comparaison avec d'autres méthodes de mesure du moment de ro-
tation, le procédé de mesure magnétostrictive, selon l'état de la technique, pré-
sente l'avantage de diminuer considérablement les moyens nécessaires pour ef-
20 fectuer une mesure exacte du moment.

Grâce aux mesures préconisées, la profondeur de pénétration du flux
magnétique dans l'épaisseur de l'arbre est relativement faible. Par ce moyen,
on obtient un signal de sortie qui est sensiblement plus intense que celui ob-
tenu par les dispositifs de l'art antérieur. Par ce moyen, on supprime égale-
25 ment la dispersion relativement importante des résultats, susceptible de faus-
ser le signal de sortie.

En outre, le procédé proposé permet également d'effectuer des me-
sures de couples sur des arbres en matière synthétique, grâce à un revêtement
de ces arbres.

30 La détermination exacte du moment est utilisée dans les entraîne-
ments comme base de commande et de régulation. Grâce au procédé de détermina-
tion exacte du moment sur un véhicule, il est possible d'améliorer considéra-
blement la commande du moteur et de l'entraînement. D'autre part, cela permet
également d'améliorer la qualité du changement de vitesses sur les boîtes de
35 vitesses et le choix optimal de la vitesse, de façon à réduire la consommation
de carburant. La détermination optimale et exacte du moment présente un inté-
rêt pour les boîtes automatiques pour véhicules particuliers, véhicules de
transport en commun et véhicules utilitaires, mais également pour indiquer l'é-
tat de charge afin de permettre, à des véhicules à accouplement à griffes ou
40 à boîte synchrone, de rouler dans des conditions optimales.

Grâce à la méthode de détermination proposée du couple, il est possible, contrairement aux procédés de l'art antérieur qui étaient exclusivement capables d'effectuer des mesures uniques (par exemple la mesure du couple sur un banc d'essai), d'effectuer des mesures en série sur des entraînements. Il en résulte une diminution sensible du coût de fabrication d'un dispositif de mesure du moment de rotation.

Grâce au revêtement, respectivement à l'enrobage de l'arbre au moyen d'un matériau hautement perméable, par exemple par un traitement de surface de l'arbre, il est possible désormais d'obtenir un signal de sortie homogène, tout en réduisant considérablement la consommation énergétique. Cet effet est accru en ce qu'on travaille avec une fréquence plus élevée, de manière à réduire la profondeur de pénétration du flux magnétique dans l'arbre dont on mesure le moment de torsion.

Outre l'augmentation de l'intensité du signal de sortie pour une consommation énergétique réduite et un abaissement de l'hystérésis, le procédé et le dispositif selon l'invention fournissent un signal de sortie plus linéaire, correspondant au moment de rotation mesuré.

Un avantage important de l'objet de la présente invention résulte de ce qu'il est possible de déterminer le moment de rotation et d'obtenir simultanément une impulsion proportionnelle au nombre de tours, par des mesures effectuées sur le même tronçon de l'arbre. Par la détermination simultanée du moment de rotation et du nombre de tours dans un même appareil de mesure, on abaisse simultanément l'encombrement et le coût de fabrication de l'installation de mesure.

Un dispositif électronique simple permet de déterminer le sens de la torsion. Ceci est particulièrement intéressant pour les changements de vitesses automatiques, par exemple pour déterminer avec précision, sur une pente abrupte, à quel moment une inversion du sens du moment de rotation affecte l'arbre d'entraînement, de manière à éviter au conducteur de rétrograder de façon inappropriée.

En outre, il est avantageux que le dispositif de mesure puisse utiliser un générateur de Hall très peu encombrant ou une plaque de champ, c'est-à-dire une résistance dépendant du flux magnétique.

La présente invention sera mieux comprise en référence à la description d'exemples de réalisation et des dessins annexés, dans lesquels :

La figure 1 représente un toreducteur annulaire utilisé comme instrument de mesure,

La figure 2 représente une vue en coupe selon la ligne II-II de la fig. 1,

La fig. 3 représente le circuit de raccordement du toreducteur an-

nulaire,

La figure 4 illustre le flux magnétique dans un arbre durci,

La figure 5 représente un arbre ayant une surface superficielle de haute perméabilité,

5 La figure 6 représente un arbre comportant une partie de mesure en forme de douille,

La figure 7 représente le diagramme de l'intensité du signal de mesure,

10 La figure 8 représente l'intensité d'excitation, en fonction de la surface du pôle d'excitation pour une densité donnée des lignes de champ magnétique,

Les figures 9 à 14 représentent les éléments de traitement du signal de mesure,

15 Les figures 15 à 17c représentent un dispositif permettant de déterminer simultanément le nombre de tours et le moment de rotation, et

Les figures 18 à 21 représentent un générateur de Hall, respectivement une plaque de champ utilisée comme instrument de mesure.

20 Les fig. 1 à 3 illustrent le dispositif de mesure utilisé dans le cadre du procédé de mesure magnétostrictive du moment de rotation d'arbres de transmission. Ce dispositif comporte un instrument de mesure 1, se présentant ici sous la forme d'un toreducteur annulaire 5, un arbre 2 d'axe 3. Trois bagues polaires 4a, 4b et 4c entourent l'arbre 2. Les bagues polaires portent d'un côté des pièces polaires 6 sur lesquelles sont montées les bobines du dispositif de mesure. La bague polaire 4b centrale porte quatre bobines pri-
25 maires 8, susceptibles d'être excitées par un oscillateur non représenté. Les bagues polaires 4a et 4c, disposées de part et d'autre de la bague polaire centrale polaire 4b, portent respectivement deux bobines secondaires 9 diamétralement opposées par rapport à l'arbre, qui induisent un signal de sortie U_A lors d'une variation du champ magnétique.

30 La fig. 3 représente le schéma de raccordement du dispositif de mesure magnétostrictive. Les bobines primaires 8, montées sur la bague polaire centrale 4b, sont connectées en série, le sens des spires étant alternativement inversé. De ce fait, les bobines à spires inversées 8 sont respectivement dési-
35 gnées par S et N. Les bobines secondaires 9 des bagues polaires 4a, 4c sont également connectées en série. Les deux bobines secondaires 9 de la bague polaire 4a sont bobinées en sens inverse par rapport aux bobines secondaires 9 de la bague polaire 4c. Selon le sens de bobinage, les bobines 9 sont désignées par des références A et B.

40 Lorsque l'arbre n'est soumis à aucune charge ni à des contraintes intérieures, le champ magnétique, entre les différentes bobines N et S, est sy-

métrique, de sorte que les lignes de potentiel nul sont disposées symétriquement sous les pôles secondaires A et B. Le flux secondaire et la tension secondaire sont également nuls.

La figure 4 représente, de façon simplifiée, le champ magnétique induit par les bobines primaires 8 dans l'arbre, selon l'état de la technique.

Les fig. 5 et 6 illustrent un arbre 2 qui est enrobé d'un matériau de haute perméabilité, comme cela est proposé par la présente invention. La couche de matériau magnétiquement bon conducteur 11 peut par exemple être collée de façon continue sur l'arbre 2. Toutes les autres réalisations, permettant un contact direct entre l'arbre 2 et la couche de matériau magnétiquement bon conducteur 11, sont également envisageables.

Certains métaux, tels que par exemple des métaux amorphes, se prêtent particulièrement bien pour la réalisation de la couche de matériau magnétiquement bon conducteur. L'utilisation de métaux amorphes permet de réaliser des mesures optimales, du fait qu'ils sont exceptionnellement doux, c'est-à-dire qu'ils présentent une haute perméabilité (μ_{\max} allant jusqu'à 500'000), des forces de champ coercitif faibles et de faibles pertes de démagnétisation. Un enrobage de l'arbre, au moyen de ces matériaux, sur une épaisseur inférieure ou égale à 0,1 mm, conduit à ce que les lignes de champ magnétique ne pénètrent que dans cette couche périphérique et engendrent une intensité très élevée du champ magnétique. Cet effet peut encore être renforcé et amélioré par les deux mesures suivantes :

- D'une part, on peut interposer, entre la couche 11 et l'arbre 2, une couche 13 en un matériau magnétiquement non conducteur. De ce fait, on diminue encore le risque d'une pénétration des lignes de champ magnétique dans l'arbre 2.

- D'autre part, pour diminuer la profondeur de pénétration des lignes de champ magnétique dans l'arbre, et de ce fait accroître la densité des lignes de champ magnétique dans la couche périphérique du matériau magnétiquement bon conducteur 11, il s'est avéré utile d'utiliser une fréquence porteuse d'au moins 1 KHz pour les bobines primaires de magnétisation 8. Pour une telle fréquence d'excitation, on exclut par ailleurs tout phénomène de résonance avec la fréquence du nombre de tours de l'arbre en rotation.

La fig. 6 illustre une autre forme de réalisation du dispositif selon l'invention. Dans ce dispositif, la couche de matériau magnétiquement bon conducteur 11 se présente sous la forme d'une douille 15, qui est rendue solidaire de l'arbre 2 par deux éléments de liaison 16. Le tronçon de mesure en forme de douille 15 n'est pas nécessairement lié de façon rigide à l'arbre 2 sur toute sa longueur, la liaison par l'intermédiaire des deux éléments entraîneurs 16 étant suffisante.

Dans les deux formes de réalisation des fig. 5 et 6, il est sans importance que l'arbre 2 soit réalisé en un métal ou en un alliage. Le procédé de mesure selon l'invention s'applique également pour des matériaux non magnétiquement conducteurs, par exemple du silumin ou des matériaux synthétiques.

5 Une faible pénétration des lignes de champ magnétique et ce qui en résulte, une densité élevée du champ magnétique à la surface superficielle de l'arbre 2, s'obtient également par un affinage superficiel d'un arbre métallique 2. Cet affinage peut par exemple être obtenu par un traitement thermique, des bains, une électrolyse ou un giclage à la flamme.

10 La fig. 7 représente l'intensité du signal de sortie U_A des bobines secondaires 9, par rapport à la charge T du moment de rotation appliquée à l'arbre 2. La forme de la courbe 7a correspond à un arbre trempé, tels qu'ils sont couramment réalisés en pratique. Lorsqu'un tel arbre trempé est traité par un procédé permettant un affinage superficiel, les intensités du signal de sortie
15 correspondront à la courbe 7b. Si l'arbre est revêtu d'une couche d'un matériau à haute perméabilité (voir fig. 5 et 6), les intensités du signal de sortie U_A correspondront à la courbe 7c.

Pour obtenir un signal de sortie U_A maximal pour une puissance d'excitation donnée de l'oscillateur qui excite les bobines primaires 8, on propose de maintenir la surface des pôles inférieurs à 10 mm^2 . D'autre part, le nombre des pôles d'excitation ne doit pas dépasser quatre, de façon à diminuer la puissance consommée. Comme le montre la fig. 8, on obtient ainsi une densité plus forte des lignes de champ magnétique (environ 6 KGs) pour une puissance d'excitation relativement faible. Cette puissance a une valeur inférieure à
25 100 mW.

Les fig. 9 à 14 décrivent le traitement du signal de sortie U_A . L'oscillateur de génération de la fréquence porteuse est désigné par la référence 20. La référence 21 désigne le circuit équivalent à l'appareil de mesure 1, à l'inducteur annulaire 5. Les lignes 22, 23, transmettent la fréquence porteuse aux bobines primaires. Le signal de sortie U_A est transmis par les lignes
30 24 et 25, et fournit une mesure du moment de rotation. La fig. 13 illustre l'aspect du signal de sortie U_A , U_A représentant l'enveloppe de la fréquence porteuse modulée, en fonction du temps t . Le point P de cette courbe illustre une inversion de sens du moment de rotation, comme cela se produit par exemple
35 lorsque lors d'une descente, une poussée en provenance des roues s'exerce sur l'entraînement et le moteur. Si le signal U_A est transmis à un redresseur 27 tel que représenté par la fig. 11, on obtient, comme signal de sortie, la partie positive U_E de la courbe U_A de la fig. 13. Dans ce cas, l'inversion du sens du moment de rotation ne peut pas être détectée.

40 On obtient un autre résultat lorsque le signal de sortie U_A , tel

que représenté par la fig. 13, est transmis à un démodulateur 28 représenté par la fig. 10. Un démodulateur de construction connue, susceptible de fonctionner également comme un multiplicateur, est représenté par la fig. 12. Dans cette forme de réalisation, la fréquence d'oscillation porteuse F de l'oscillateur 20 est transmise, par une ligne auxiliaire 30, au démodulateur 28 par son entrée 31. On obtient alors, comme signal de sortie, la courbe représentée par la fig. 14, qui permet de détecter le point d'inversion du moment de rotation. Grâce à cette réalisation, on peut déterminer à chaque moment s'il est nécessaire d'appliquer une force sur les roues par l'intermédiaire du moteur et du mécanisme d'entraînement, ou si le véhicule circule en poussée, c'est-à-dire en frein-moteur.

Les fig. 15 à 17c permettent de comprendre comment il est possible de mesurer simultanément le moment de rotation et le nombre de tours grâce au même appareil 1. Pour ce faire, il est nécessaire que la couche superficielle de l'arbre 2, respectivement le tronçon de mesure 15 en forme de douille qui est engagé de force sur l'arbre 2, comporte une fente 35 (voir fig. 15). La fig. 17 illustre le dispositif de traitement du signal de sortie U_A . On utilise à cet effet un inducteur annulaire 5 tel que décrit, alimenté par un oscillateur 20 avec une fréquence porteuse F , et le signal de sortie U_A est transmis à un redresseur 27 ou à un démodulateur 28. Le signal de sortie U_E est transmis par une dérivation 37 à un filtre passe-haut 38 et à un filtre passe-bas 39. La fente 35, ménagée dans l'enrobage de l'arbre, engendre de très fortes variations magnétiques, qui se manifestent dans le signal de sortie U_E sous la forme de pics d'impulsions 40, telles que représentées par la fig. 17a. La fig. 17a représente le signal U_E pendant une période t . Le filtre passe-bas 39 filtre les pics d'impulsions 40 de fréquence élevée dépendant du nombre de tours, de sorte qu'on obtienne un signal E_D pur, ne dépendant que du moment de rotation. Ce signal de sortie est représenté par la fig. 17c.

Le filtre passe-haut 38 filtre le signal de sortie E_D de basse fréquence correspondant au moment de rotation, de sorte qu'à la sortie de ce filtre, le signal E_N soit un signal pur ne dépendant que du nombre de tours de l'arbre en rotation, chaque tour correspondant à un pic d'impulsions 40.

Grâce à la fente 35 ménagée dans l'enrobage de l'arbre 2, respectivement dans la couche superficielle, il est possible de déterminer simultanément la vitesse de rotation et le moment de rotation.

Les fig. 18 à 21 illustrent comment on peut obtenir une variation du flux magnétique dépendant du moment de rotation d'un arbre revêtu ou enrobé superficiellement, grâce à un générateur de Hall ou à une plaque de champ.

Les fig. 18 et 19 illustrent deux bobines primaires 8, qui sont excitées par un oscillateur non représenté. Un générateur de Hall 50 est dis-

posé perpendiculairement par-dessus le noyau de fer 55 conduisant le flux magnétique. De façon connue en soi, le générateur de Hall est alimenté en courant électrique par la ligne 51. Si un moment de rotation est transmis par l'arbre 2 en induisant un champ magnétique dans la zone du générateur de Hall 50, il est possible de mesurer une différence de potentiel aux surfaces 52 et 53. Le signal de sortie transmis par la ligne 54 correspondra à une valeur du moment de rotation.

Les fig. 20a à 20c représentent un dispositif quelque peu différent, la fig. 20b étant une coupe selon la ligne A-B de la fig. 20a. Dans ce cas, la bobine d'excitation primaire 18 est bobinée autour du noyau de fer 55 du générateur de Hall 50, disposé sensiblement à 45° par rapport à l'axe de l'arbre 2. Selon le moment de rotation, le flux magnétique varie dans la couche 11 et l'on obtient, sur la ligne 54, un signal de sortie U_A dépendant du moment de rotation.

A la place de la bobine 18 et du noyau de fer 55, on peut également interposer un aimant permanent 60 comme cela est représenté sur la fig. 21.

Selon une autre forme de réalisation, on peut remplacer le générateur de Hall 50 par une plaque de champ 150, c'est-à-dire une résistance variable en fonction du flux magnétique, permettant, comme précédemment, de mesurer un signal de sortie dépendant du moment de rotation.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de mesure magnétostrictive, en particulier pour la mesure du moment de rotation d'arbres d'entraînement, au moyen d'un appareil de mesure dans lequel on induit un champ magnétique au moyen d'une tension oscillante appliquée à des bobines excitatrices primaires, et dans lequel on mesure
5 la conductivité magnétique, variable en fonction des contraintes mécaniques, des bobines réceptrices secondaires, caractérisé en ce que l'arbre de transmission 2 du moment, utilisé pour effectuer des mesures, peut être réalisé en métal ou en matière synthétique, et en ce qu'il est enrobé, revêtu ou traité en surface de telle manière que sa surface périphérique présente une perméabilité
10 de surface homogène et élevée.

2. Dispositif de mesure pour la mise en oeuvre du procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'arbre 2 est enrobé, respectivement revêtu d'une couche 11 en métal amorphe ayant une perméabilité élevée.

3. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il
15 comporte, entre la couche de perméabilité élevée 11 et l'arbre 2, une couche 12 non magnétiquement conductrice.

4. Dispositif selon la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce que la couche de perméabilité élevée a une épaisseur au plus égale à 0,1 mm.

5. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'une
20 partie de mesure 15 en forme de douille, réalisée en un matériau magnétiquement bon conducteur, est rendue solidaire de l'arbre 2 par deux éléments de liaison
16.

6. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que la surface d'un arbre métallique 2 acquiert une perméabilité de surface homogène
25 suite à des traitements thermique, par trempage dans des bains, par électrolyse, respectivement par giclage à la flamme.

7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 à 6, caractérisé en ce que le signal de sortie U_A du toreducteur (toreducteur annulaire 1) est transmis à un démodulateur 28, pour la détermination du sens de
30 transmission du couple de rotation.

8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 à 7, caractérisé en ce que l'enrobage en forme de douille de la partie de mesure 15, le revêtement en matériau magnétiquement bon conducteur 11, respectivement la surface affinée de l'arbre 2, présentent au moins une fente 35.

9. Dispositif selon la revendication 8, caractérisé en ce que le signal de sortie U_A est finalement transmis, par l'intermédiaire d'une ligne à dérivations 37, à un organe de filtrage à seuil élevé 38 pour la mesure du nombre de tours (signal de sortie E_N fonction du nombre de tours), et à un organe
39 de filtrage à seuil bas 39 pour la mesure du moment (le signal de sortie E_D

fonction du moment de rotation).

10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 à 9, caractérisé en ce que la fréquence d'excitation F des bobines primaires 8 est égale ou supérieure à 1KHz.

5 11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 à 10, caractérisé en ce que la surface totale des pôles a une valeur minimale telle que le nombre maximal des pôles d'excitation est de quatre et que la surface des pôles, par excitateur, n'est pas supérieure à 10 mm².

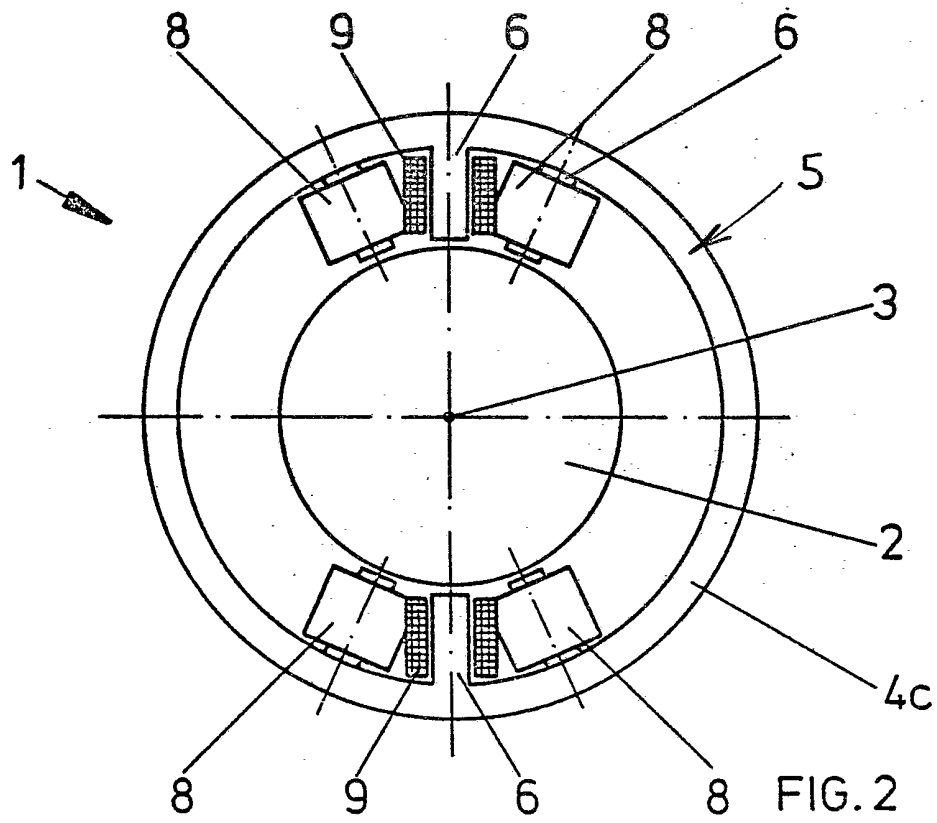
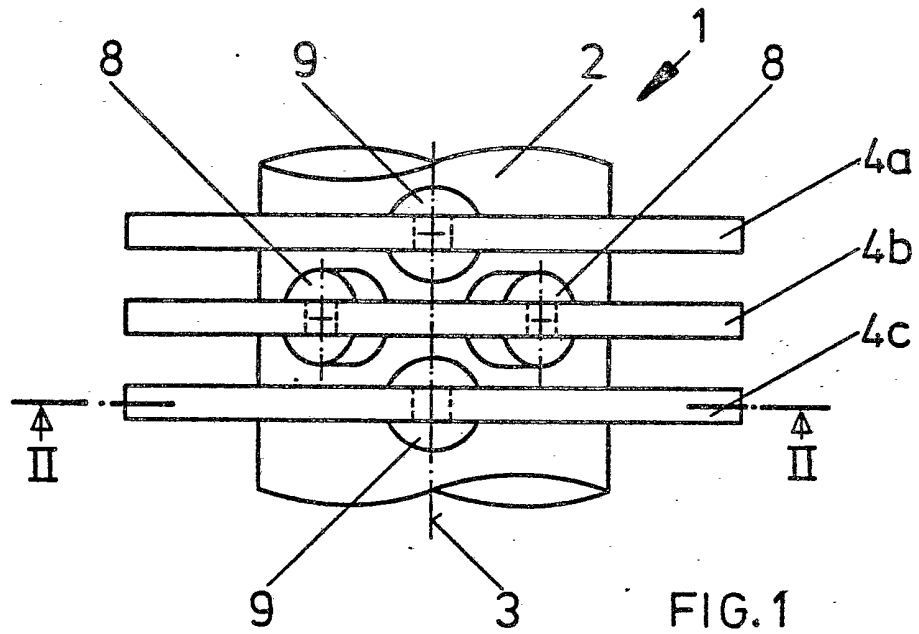
10 12. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, caractérisé en ce qu'il comporte un générateur de Hall 50 servant d'appareil de mesure 1.

13. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que la bobine d'excitation 8 du primaire est bobinée sur un noyau en fer 55 solidaire du générateur de Hall 50.

15 14. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que l'appareil de mesure est constitué par un aimant permanent 60, comportant un générateur de Hall 50 disposé à ses extrémités.

20 15. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 12 à 15, caractérisé en ce que la mesure se fait au moyen d'une résistance dépendant du champ magnétique (plaque de champ 150).

I



II

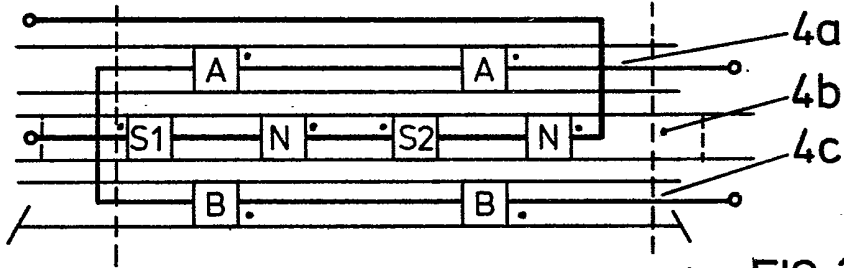


FIG. 3

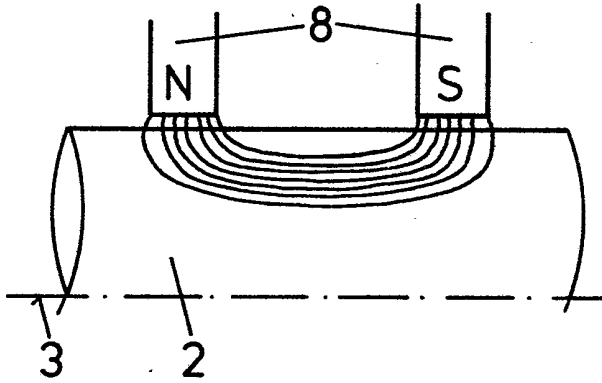


FIG. 4

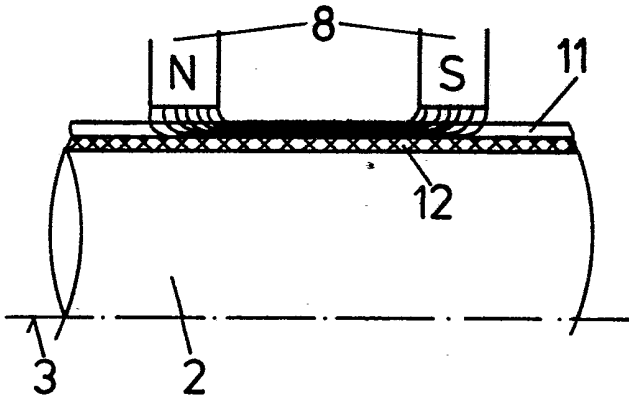


FIG. 5

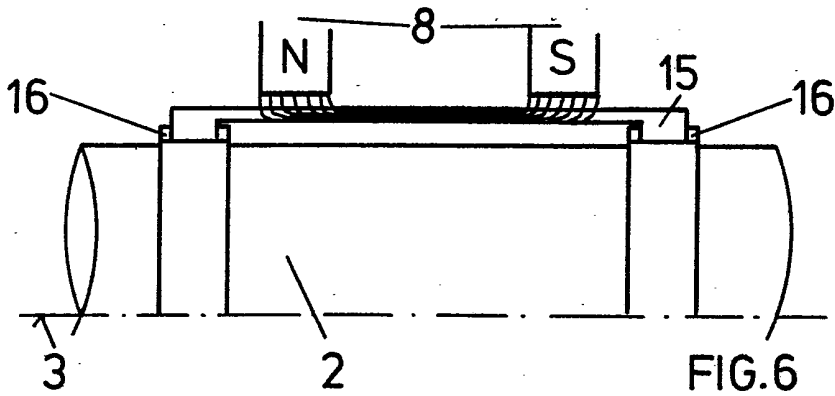


FIG. 6

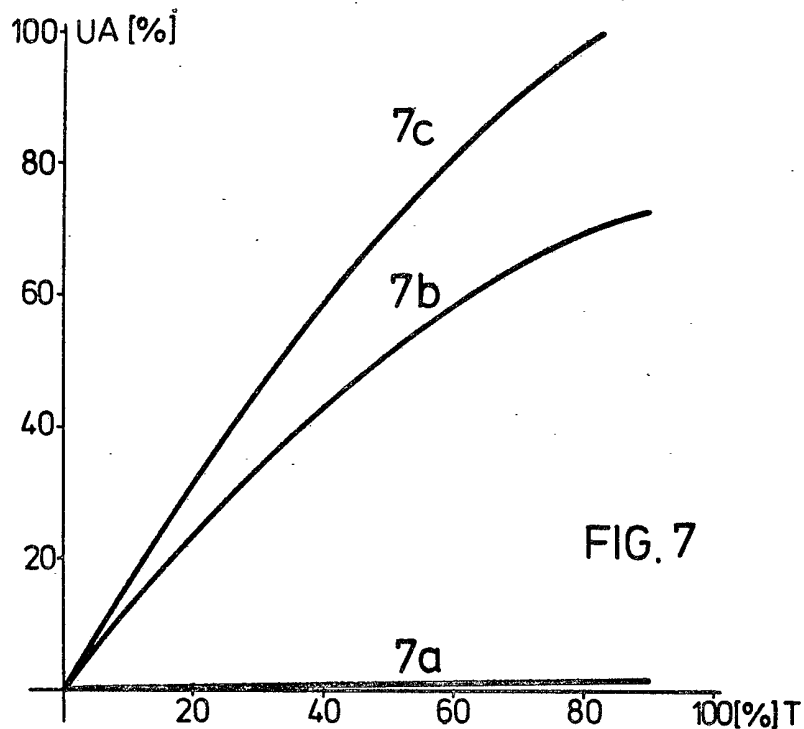


FIG. 7

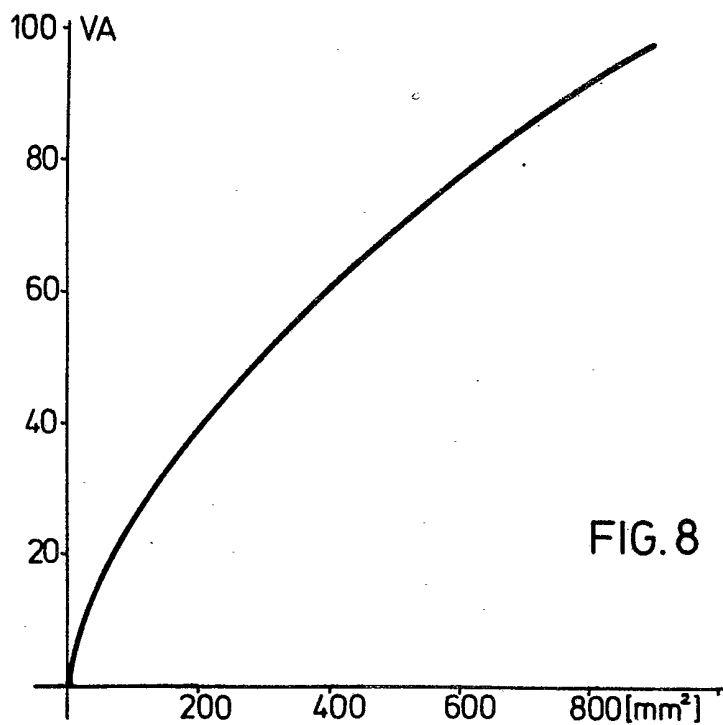


FIG. 8

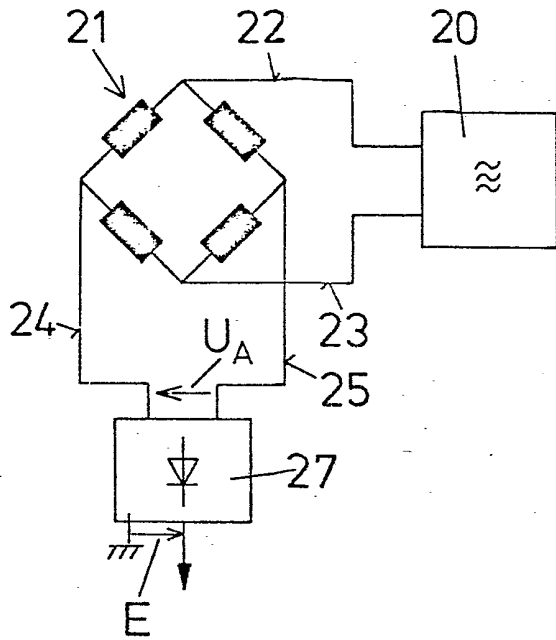


FIG. 9

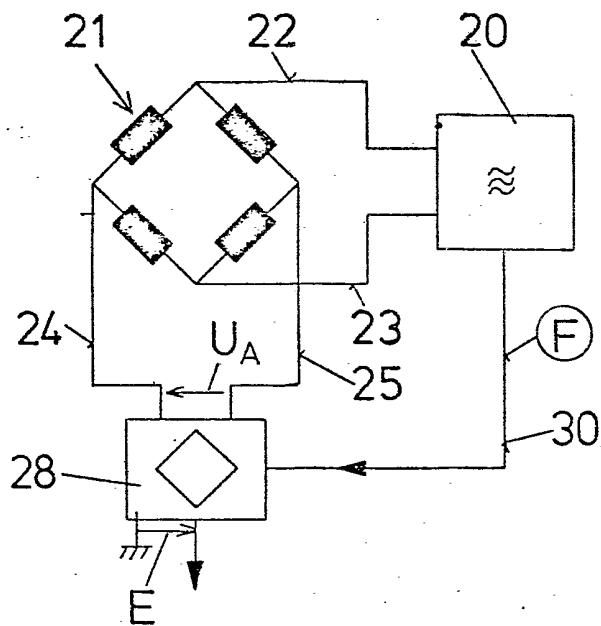


FIG. 10

Z

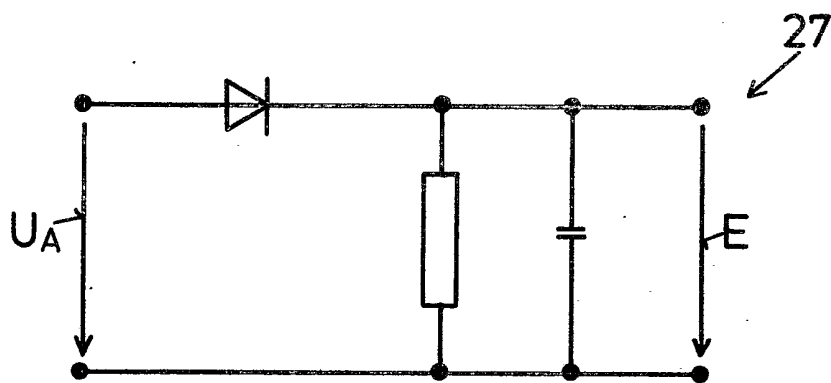


FIG. 11

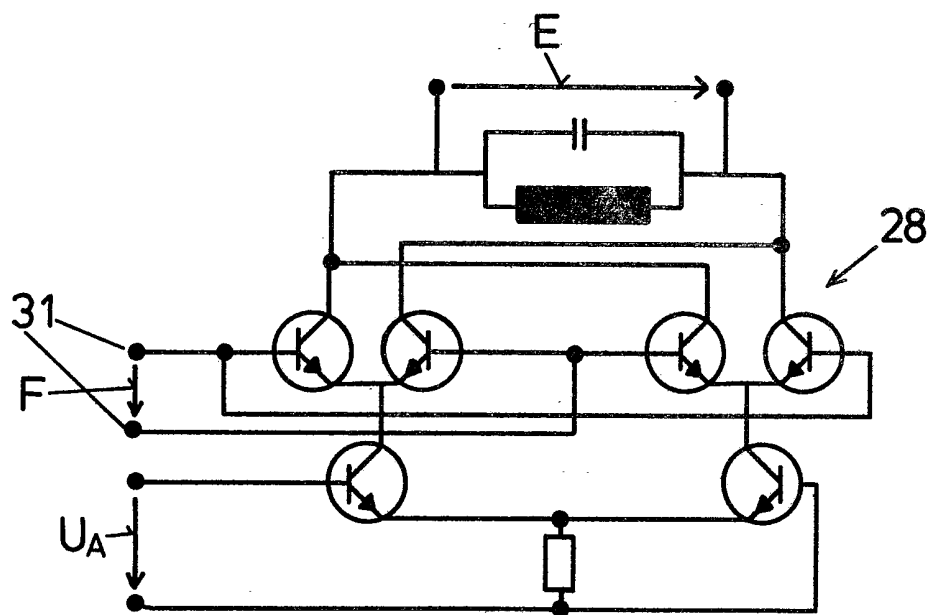


FIG. 12

VII

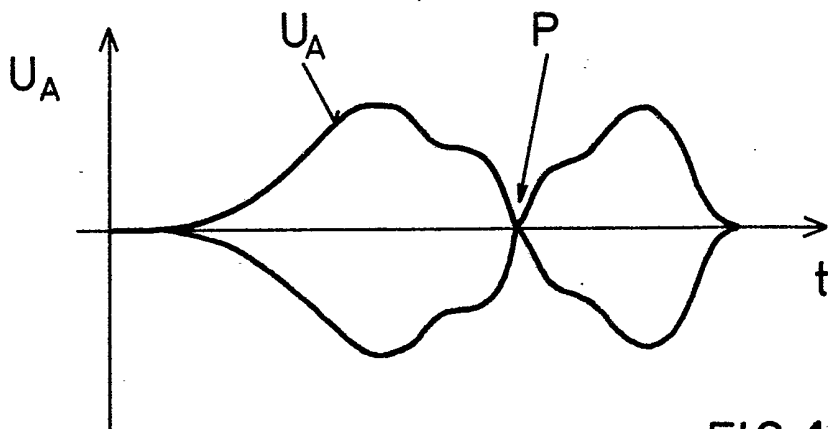


FIG. 13

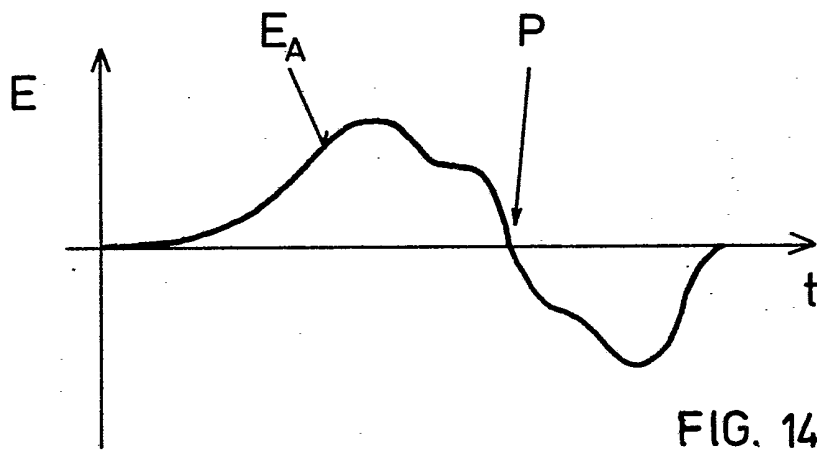


FIG. 14

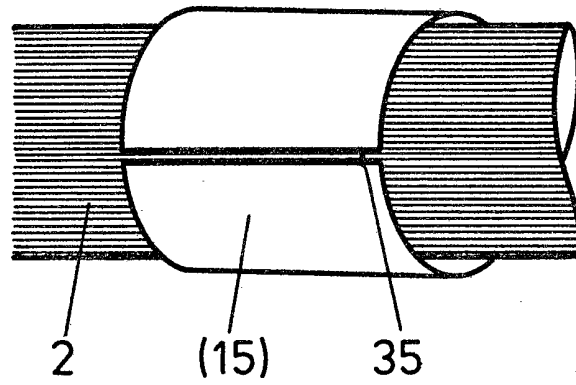


FIG. 15

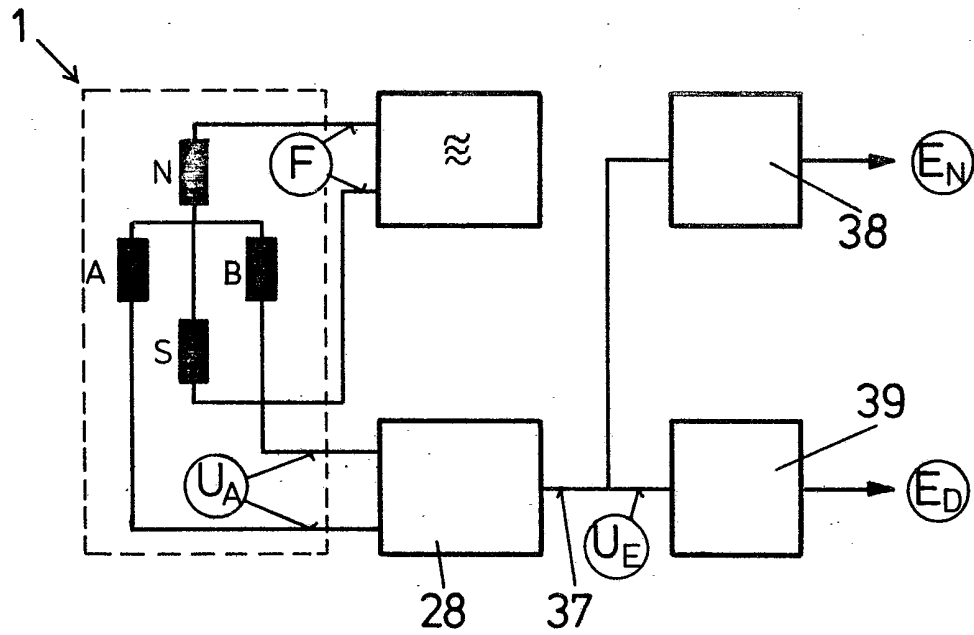


FIG. 16

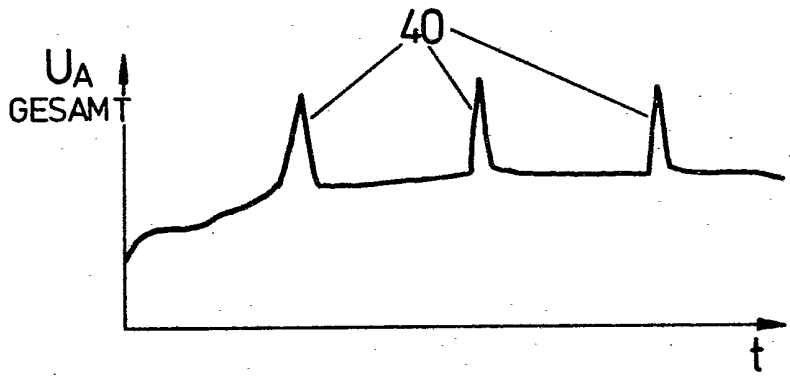


FIG. 17a

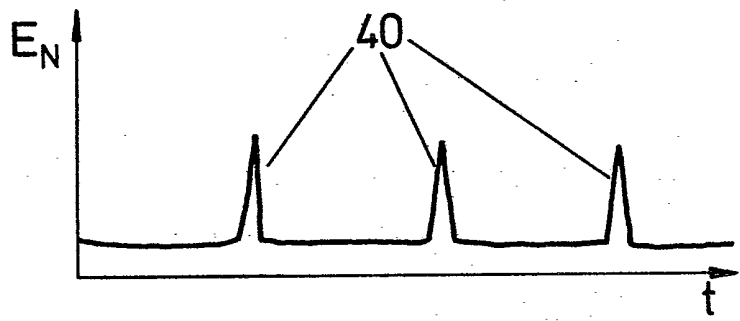


FIG. 17 b

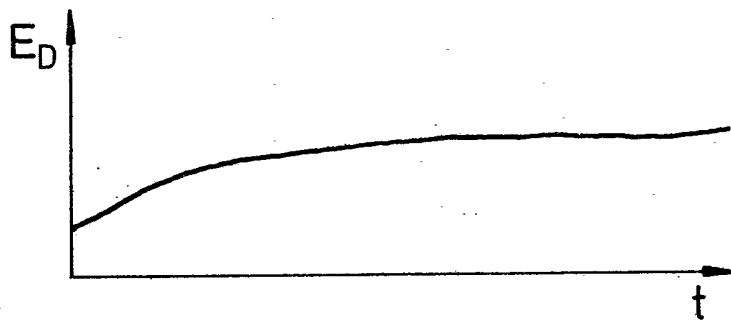


FIG. 17c

LX

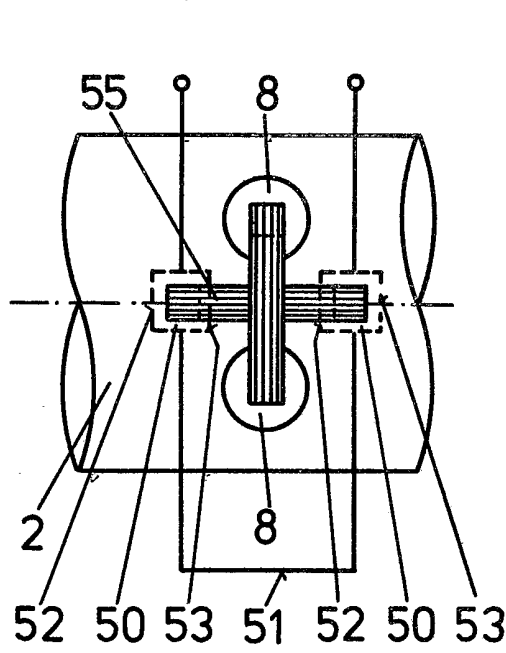


FIG. 18

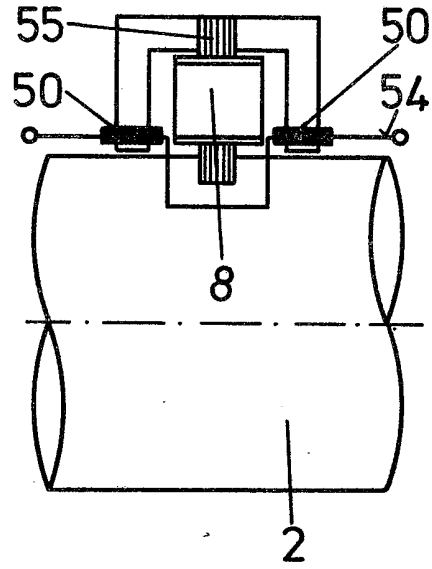


FIG. 19

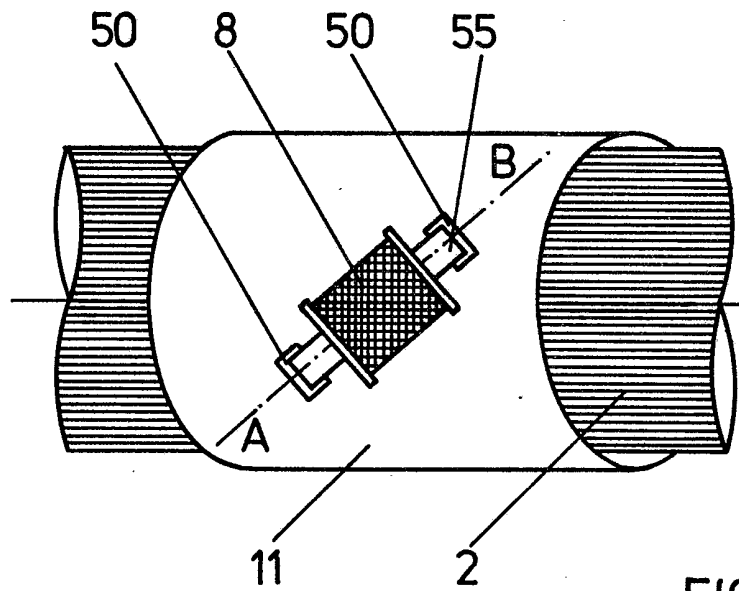


FIG. 20a

X

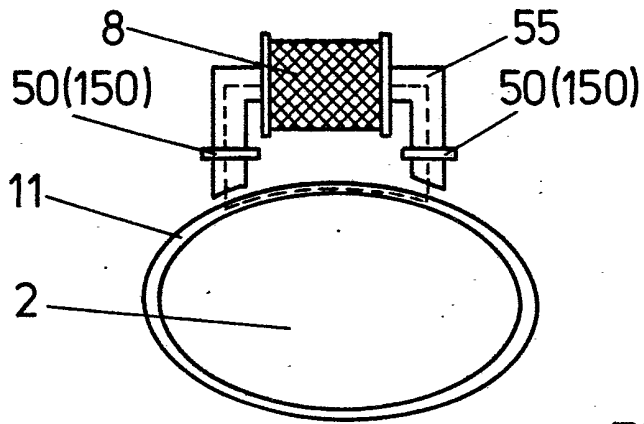


FIG. 20b

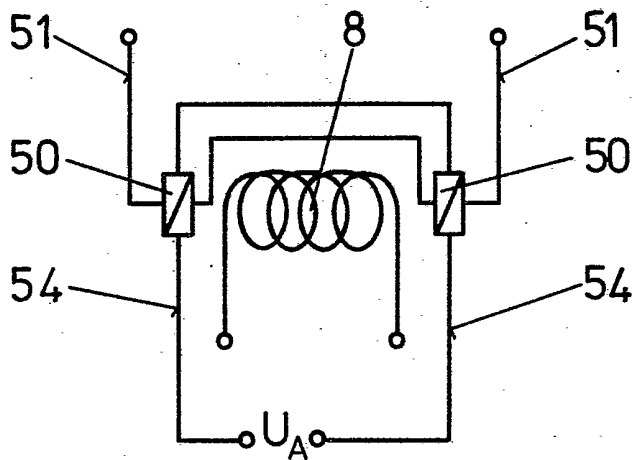


FIG. 20c

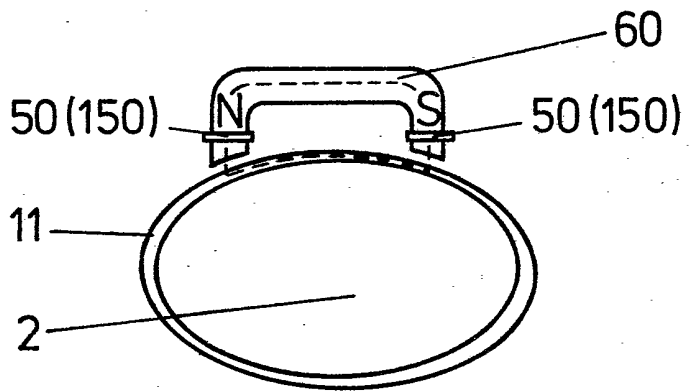


FIG. 21