

**LU**(11) Numéro du brevet d'invention: **87 751**

(12)

**BREVET D'INVENTION**(45) Date de délivrance du brevet d'invention: **15.01.1992**(51) Int. Cl.: **G01B**(22) Date de dépôt: **20.06.1990**

---

**(54) Procédé et capteur pour la mesure en continu de l'épaisseur d'un revêtement.**

---

(73) Titulaire: **ARBED S.A.  
19, avenue de la Liberté  
L-2930 Luxembourg (LU)**(72) Inventeur: **Schoos, Aloyse  
11, rue de Longwy  
L-4831 Rodange (LU)**(74) Mandataire: **Freylinger, Ernest T.  
Meyers, Ernest  
c/o Office de Brevets Freylinger & Associés  
321, route d'Arlon  
Boîte Postale 1  
L-8001 Strassen (LU)**

Brevet N° **87751**  
 du 20 juin 1990  
 Titre délivré

GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG



Monsieur le Ministre  
 de l'Économie et des Classes Moyennes  
 Service de la Propriété Intellectuelle  
 LUXEMBOURG

*Sc. M. G. 1*  
*aj. 18 m.*

# Demande de Brevet d'Invention

## I. Requête

La société dite : Arbed S.A., 19 avenue de la Liberté, (1)  
 L-2930 Luxembourg

représentée par MM. FREYLLINGER Ernest T. & MEYERS Ernest, (3)  
 Office de Brevets Freylinger & Associés, b.p.1, 321 rte d'Arlon  
 L-8001 Strassen vingt juin mil neuf cent quatre-vingt-dix (4)  
 à 15.00 heures, au Ministère de l'Économie et des Classes Moyennes, à Luxembourg:

1. la présente requête pour l'obtention d'un brevet d'invention concernant:  
 Procédé et capteur pour la mesure en continu de l'épaisseur (5)  
 d'un revêtement

2. la description en langue française de l'invention en trois exemplaires:

3. 7 planches de dessin, en trois exemplaires:

4. la quittance des taxes versées au Bureau de l'Enregistrement à Luxembourg, le 20-06-1990 :

5. la délégation de pouvoir, datée de Luxembourg le 18-06-1990 :

6. le document d'ayant cause (autorisation):

déclare(nt) en assumant la responsabilité de cette déclaration, que l'(es) inventeur(s) est (sont): (6)  
 SCHOOS Aloyse, 11 rue de Longwy, L-4831 Rodange

revendique(nt) pour la susdite demande de brevet la priorité d'une (des) demande(s) de (7)  
 // déposée(s) en (8)

le (9) //

sous le N° (10) //

au nom de (11) //

élit(élisent) domicile pour lui (elle) et, si désigné, pour son mandataire, à Luxembourg (12)  
 321 route d'Arlon, b.p. 1, L-8001 Strassen

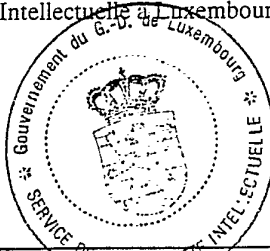
solicite(nt) la délivrance d'un brevet d'invention pour l'objet décrit et représenté dans les annexes susmentionnées,  
 avec ajournement de cette délivrance à dix-huit mois. (13)

Exposé par / mandataire: (14)

## II. Procès-verbal de Dépôt

La susdite demande de brevet d'invention a été déposée au Ministère de l'Économie et des Classes Moyennes,  
 Service de la Propriété Intellectuelle à Luxembourg, en date du:

à 15.00 heures



Pr. le Ministre de l'Économie et des Classes Moyennes,

Le chef du service de la propriété intellectuelle,

A 68017

EXPLICATIONS RELATIVES AU FORMULAIRE DE DÉPÔT  
 (1) s'il y a lieu "Demande de certificat d'addition au brevet principal" à la demande de brevet principal No ..... (2) inscrire les nom, prénom, profession, adresse du demandeur, lorsque celui-ci est un particulier ou les dénomination sociale, forme juridique, adresse du siège social, lorsque le demandeur est une personne morale - (3) inscrire les nom, prénom, adresse du mandataire agréé, conseil en propriété industrielle, muni d'un pouvoir spécial, s'il y a lieu: "représente par ..... agissant en qualité de mandataire" - (4) date de dépôt en toutes lettres - (5) titre de l'invention - (6) inscrire les noms, prénoms, adresses des inventeurs ou l'indication "(voir) désignation séparée (suivra)", lorsque la désignation se fait ou se fera dans un document séparé, ou encore l'indication "ne pas mentionner", lorsque l'inventeur signe ou signera un document de non-mention à joindre à une désignation séparée présente ou future - (7) brevet, certificat d'addition, modèle d'utilité, brevet européen (CBE), protection internationale (PCT) - (8) Etat dans lequel le premier dépôt a été effectué ou, le cas échéant, Etats désignés dans la demande européenne ou internationale prioritaire - (9) date du premier dépôt - (10) numéro du premier dépôt complet, le cas échéant, par l'indication de l'office receveur CBE/PCT - (11) nom du titulaire du premier dépôt - (12) adresse du domicile effectif ou élu au Grand-Duché de Luxembourg - (13) 2, 6, 12 ou 18 mois - (14) signature du demandeur ou du mandataire agréé.

**MEMOIRE DESCRIPTIF**  
déposé à l'appui d'une demande de  
**BREVET D'INVENTION**  
au  
**LUXEMBOURG**

au nom de : ARBED S.A.  
19 avenue de la Liberté  
L-2930 Luxembourg

pour : " Procédé et capteur pour la mesure  
en continu de l'épaisseur d'un  
revêtement "

Procédé et capteur pour la mesure en continu  
de l'épaisseur d'un revêtement.

La présente invention a pour objet un procédé qui permet de déterminer sans contact et de façon non destructive l'importance par unité de surface de la charge d'un produit de revêtement déposé sur un substrat métallique de composition différente de celle du revêtement, ainsi qu'un capteur capable de fournir une indication précise sur l'épaisseur prémentionnée d'un tel revêtement, cette détermination étant exécutée directement et en continu sur le produit au fur et à mesure de son traitement, de sorte à rendre possible une intervention de régulation immédiate sur le processus de revêtement en cours et de pouvoir garantir ainsi tout aussi bien l'épaisseur spécifiée du revêtement que l'uniformité de son dépôt sur toute la longueur du produit traité.

Comme la qualité du revêtement et la constance de cette qualité sont deux critères essentiels d'appréciation de produits revêtus, on comprend aisément que seul un procédé de contrôle industriel qui travaille directement sur le flux et au rythme de la production et qui fournit une réponse très rapide, puisse donner satisfaction. Ceci n'est que plus vrai s'il s'agit en plus, comme presque de règle générale de nos jours, de greffer une régulation automatique sur ce contrôle. Ces exigences valent plus ou moins de la même façon pour les différents principes et procédés de revêtement, soit chimiques, soit électrolytiques, soit au trempé. Aussi ne suffit-il plus de déterminer après la fin du traitement par des voies lentes, comme l'analyse chimique, le poids du revêtement sur quelques échantillons. D'un autre côté, certains des procédés connus de mesure directe et continue, qui donnent des résultats valables sous des conditions bien déterminées dans d'autres domaines, ne conviennent pas ici. Ceci est surtout le cas pour les mesures par les voies optiques et pour les procédés radioactifs.

La mesure par voie électromagnétique a également déjà été préconisée pour la détermination directe et en continu de l'épaisseur d'un revêtement de zinc déposé par galvanisation sur un substrat ferromagnétique. A cet effet la demande de brevet allemand no 3.328.225 a prévu de comparer, dans un domaine de fréquences donné, la différence entre les amplitudes - ou alternativement entre les phases - des forces électromotrices produites aux extrémités de deux bobines électromagnétiques, dont l'une est traversée par le produit à analyser et dont l'autre constitue la bobine de référence vide. La fréquence d'oscillation du courant alternatif d'alimentation appliqué aux deux bobines est choisie dans le domaine compris entre 10 kHz et 200 kHz, où l'on obtient la sensibilité de mesure la plus valable de la différence de la force électromotrice aux deux bobines. La fréquence de service la plus appropriée pour la mesure du revêtement d'un fil galvanisé a été indiquée comme étant 90 kHz.

Ce procédé se base sur une approche trop expérimentale et il ne donne pas de valeurs suffisamment univoques et reproductibles. Ceci résulte du simple fait que le phénomène électromagnétique dont on veut mesurer la valeur ne varie pas seulement en fonction de l'importance de la couche du métal ou de l'alliage de revêtement, mais il est aussi influencé de façon souvent imprévisible par d'autres paramètres parasites, comme par exemple les variations de la perméabilité magnétique de l'acier en fonction de son analyse et du traitement subi préalablement par l'acier.

Le but de la présente invention est d'éviter ces inconvénients et de dévoiler un procédé permettant de mesurer automatiquement et en continu l'épaisseur d'un revêtement déposé sur un substrat métallique, ou autrement dit, de mesurer la quantité de produit de revêtement déposé ou chargé par unité de surface par détermination d'une grandeur présentant une relation bien déterminée et aisément déterminable avec l'épaisseur de ce revêtement.

Comme donc l'épaisseur peut ainsi être mesurée directement et de façon univoque, l'invention ouvre aussi la possibilité d'intervenir pour ainsi dire instantanément sur la régulation du processus de

revêtement, de sorte que l'on peut maintenir pour l'épaisseur du revêtement en permanence une fourchette assez étroite par rapport aux tolérances spécifiées. Avec les procédés classiques actuels de revêtement de fils au trempé par exemple, on vise en général une charge de 10 % supérieure à celle demandée, afin de pouvoir éviter de ne tomber en dessous du minimum à garantir. Ainsi, grâce à la présente invention, on ne peut pas seulement réaliser un revêtement plus uniforme et plus conforme à l'épaisseur visée, mais on économise aussi de la matière première.

Ce but suivant la présente invention est réalisé par un procédé qui est caractérisé en ce que l'on mesure en continu les pertes par effet Joule des courants de Foucault induits dans le produit revêtu par un champ magnétique alternatif, ces pertes étant, pour une fréquence préétablie donnée, inversement proportionnelles à l'épaisseur du revêtement. En effet, les pertes propres à une bobine d'induction bien dimensionnée sont faibles et constantes, alors que les pertes causées par le produit revêtu, c'est-à-dire le substrat avec son revêtement, passant dans la bobine sont bien supérieures et variables, de sorte qu'on obtient une mesure directe significative, qui en plus est montone. Il est entendu que le produit soumis à la mesure à la sortie de son bain de revêtement à chaud ou à froid est un substrat ferromagnétique et que le revêtement est un métal conducteur d'électricité ayant une faible perméabilité magnétique inférieure à celle du substrat revêtu.

Suivant la forme d'exécution préférée de l'invention la fréquence d'excitation est choisie de sorte que la pénétration naturelle des courants de Foucault dans le matériel du revêtement est assez proche de l'épaisseur visée du revêtement à appliquer, ce dernier variant le plus souvent entre quelques microns et une centaine de microns au plus. Les fréquences optimales pour effectuer la mesure varient en fonction de la conductibilité du métal de revêtement par rapport à celle du substrat entre 1 MHz et environ 100 MHz comme valeur supérieure. Ces fréquences sont donc très nettement plus élevées - en gros d'un facteur de 10 à 100 - que les fréquences de l'ordre de grandeur de 100 kHz, telles qu'elles sont utilisées si on a recours à

la mesure de l'effet de phase ou de l'amplitude de la force électromotrice suivant l'état de la technique. Les gammes de fréquences utilisées ici sont par exemple celles de 1-10 MHz pour la combinaison zinc sur acier, alors que la mesure de très fines couches de laiton de l'ordre de 1  $\mu$ m sur du fil d'acier très mince est effectuée dans la gamme des 100 MHz. Aussi la présente méthode de mesure de la puissance dissipée dans des gammes de fréquences élevées présente-t-elle des avantages bien particuliers, comme le fait que la part relative des pertes dues au substrat est diminuée ou que la mesure peut aussi être effectuée en continu sur un produit en défilement très rapide.

Ce procédé suivant l'invention réduit donc la mesure de l'épaisseur d'un revêtement à la mesure d'une puissance consommée respectivement à la mesure du facteur de qualité d'une bobine.

Aussi un capteur de mesure conforme à la présente invention se caractérise-t-il par le fait qu'il consiste en un oscillateur composé d'un circuit LC ( bobine-condensateur ) et d'un amplificateur à gain variable branché en boucle fermée. Une boucle de régulation limite l'amplitude des oscillations.

En considérant qu'un circuit résonnant LC constitue un système dont le gain est fonction des pertes de la bobine, les instruments peuvent être très simples et ils font une mesure quasi directe des pertes de la bobine, y compris donc les pertes causées par la présence du produit revêtu. Les pertes propres d'une bobine bien dimensionnée étant très réduites, les pertes causées résultent en premier lieu du produit revêtu traversant le champ de la bobine, les variations des pertes étant imputables quasi exclusivement au revêtement.

D'un autre côté, sachant qu'à une amplitude d'oscillations constante le produit des gains de l'amplificateur et du circuit LC est 1 et connaissant les caractéristiques de l'amplificateur, on peut déduire le gain du circuit LC de la tension de régulation. Ce gain du circuit LC est, comme montré ci-devant, en relation directe avec les pertes, donc en relation bien définie avec l'épaisseur de la couche du revêtement sur le produit.

D'autres approches pour mesurer les pertes d'une bobine sont possibles. Ainsi une autre façon de mesurer ces pertes d'une bobine peut consister en une mesure de la tension, du courant et du déphasage. Toutefois cette approche est en général coûteuse et la mesure de phase devient difficile si on approche des  $90^\circ$ . D'un autre côté la bande passante d'un circuit LC est fonction du facteur de qualité de la bobine et en conséquence des pertes de la bobine. La mesure suffisamment exacte de cette bande passante nécessite un circuit intelligent qui coûte relativement cher. Il vient s'y ajouter que ces deux dernières approches constituent des mesures indirectes des pertes, alors que la méthode de réalisation préférentielle décrite ci-devant consiste en une mesure électrique plus directe de la puissance dissipée. Par ailleurs les capteurs décrits plus haut sont de loin meilleur marché, ce qui rend possible leur utilisation dans des installations comprenant très souvent plusieurs centaines de lignes individuelles de galvanisation.

Le signal obtenu d'après la méthode et avec les moyens de la présente invention peut être directement affiché et/ou enregistré avec conversion simultanée dans une unité caractérisant l'épaisseur du revêtement. Le signal peut aussi être traité et utilisé pour la régulation des opérations nécessaires à l'application du revêtement.

Pour les besoins de la présente invention on peut utiliser différents types de configurations pour les bobines qui sont en contact électromagnétique avec le produit revêtu en défilement. Dans les configurations à une bobine ( voir fig. 5 ) le chemin de défilement du produit à examiner se couvre avec l'axe de la bobine et le champ magnétique est coaxial au produit; dans celles à deux bobines ( voir fig. 6 ) qui sont disposées de part et d'autre de l'entrefer d'un aimant en forme de C et qui sont branchées en série, les champs alternatifs sont orthogonaux par rapport à l'axe de défilement du produit qui passe entre les deux pôles; dans celles à trois bobines disposées en triangle dans un même plan ( voir fig. 7 ), un champ orthogonal à l'axe du produit défilant verticalement tourne autour des

axes communs de défilement du produit et de disposition des bobines . Ainsi on peut choisir différentes configurations en fonction tant des propriétés du revêtement que de la géométrie du produit en défilement. Dans tous les cas, le choix de matériaux ferromagnétiques appropriés aux fréquences choisies pour être utilisables comme guide des champs magnétiques et comme blindage externe, permet de réduire la puissance dissipée dans les bobines elles-mêmes, de concentrer l'effet sur le produit examiné et de minimiser le couplage capacitif entre la bobine et le produit.

Bien qu'on n'écarte pas à priori des applications sur des produits généralement quelconques, le procédé suivant l'invention est toutefois utilisé en premier lieu pour le contrôle continu, sans contact et non destructif du revêtement sur des produits allongés, par exemple du fil, des barres rondes ou polygonales et des tubes.

L'invention telle qu'elle peut être mise en exploitation est décrite plus en détail ci-après en se référant aux différents dessins dans lesquels les diverses figures représentent ce qui suit:

- figure 1 montre un exemple de la dépendance des valeurs de la perte de puissance des courants de Foucault induits en fonction de l'épaisseur de la couche du métal de revêtement; les pertes par effet Joule sont portées en ordonnée en mW ( milliwatt ) et les épaisseurs de la couche de zinc en  $\mu\text{m}$  ( microns ) en abscisse,

- figure 2 illustre l'étendue de l'indépendance de la valeur de la perte de puissance pour 3 épaisseurs données du revêtement zinc sur acier dans la gamme inférieure des fréquences de mesure préconisées; les pertes par effet Joule sont en ordonnée et en abscisse on trouve les fréquences d'excitation,

- figure 3 montre qu'au delà d'une fréquence minimale ( en abscisse ) la part relative de la puissance dissipée ( en ordonnée ) par le substrat lui-même devient faible et la puissance dissipée totale devient presque indépendante des caractéristiques exactes du substrat,

- corrélativement à la figure 3 la figure 4 illustre par la droite parallèle à l'abscisse que les résultats de mesure ne sont pas influencés significativement par les propriétés électromagnétiques du substrat dans la gamme des fréquences de mesure choisies suivant l'invention, c'est-à-dire qu'il y a proportionnalité entre le signal et l'épaisseur à mesurer; la puissance est portée en ordonnée et la perméabilité relative magnétique du substrat en abscisse,

- figure 5 est une coupe orthogonale à l'axe du produit en défillement à travers une première forme d'exécution d'une bobine d'induction suivant l'invention,

- figure 6 est une coupe orthogonale à l'axe du produit en défillement à travers une autre forme d'exécution d'une bobine d'induction suivant l'invention,

- figure 7 est une coupe orthogonale à l'axe du produit en défillement à travers une troisième forme d'exécution d'un ensemble de bobines d'induction suivant l'invention,

- figure 8 montre, en forme de schéma, une des configurations possibles pour la mesure de l'épaisseur d'un revêtement suivant la présente invention,

- figure 9 représente un autre exemple d'un circuit de mesure répondant aux exigences suivant l'invention.

Comme illustré par la figure 1 il existe une relation de proportionnalité inverse entre d'un côté les pertes de puissance (en mW) par effet Joule des courants de Foucault induits dans un champ magnétique alternatif et d'un autre côté l'importance de la couche du produit de revêtement métallique déposé sur un substrat ferromagnétique qu'on laisse défiler à l'état revêtu dans ledit champ magnétique. Par étalonnage ou conversion appropriés, la valeur de la mesure de la puissance dissipée peut apparaître ou être exprimée soit comme 'épaisseur de couche en microns ( $\mu\text{m}$ )', tel qu'illustré, soit comme quantité de produit de revêtement qui se trouve être déposée par unité de surface ou de longueur du substrat et qui est exprimée en 'milligrammes par  $\text{cm}^2$ ', ou en 'milligrammes par cm'.

Pour des couples substrat - revêtement de natures différentes la relation prémentionnée est donnée pour des gammes de fréquences bien déterminées. En général la fréquence d'excitation est choisie de sorte que la pénétration naturelle des courants de Foucault dans le matériel du revêtement soit proche de l'épaisseur visée du revêtement. Ces fréquences se trouvent normalement dans la fourchette 1 à 100 MHz pour les revêtements usuels. Dans la figure 2 est représenté le cas précis du revêtement de zinc appliqué par galvanisation au trempé sur un substrat d'acier. On voit qu'au delà d'une fréquence minimale, qui selon l'épaisseur du revêtement de zinc sur l'acier est de 1 à 2 MHz, et jusqu'à une fréquence de 10 MHz et plus, la puissance dissipée dans un revêtement d'une épaisseur donnée de 30, 50 ou 70 microns ne varie pratiquement pas.

Si on a recours aux fréquences élevées, tel que préconisé par la présente invention, la part relative des pertes dans le substrat se trouve diminuée. Ainsi donc la réponse électromagnétique visée ici n'est-elle pratiquement plus influencée par le substrat. La figure 4 montre que la valeur de la perte de puissance ( 71 mW ) reste constante pour la fréquence de mesure de 1 MHz ( pour une épaisseur de revêtement de 50  $\mu\text{m}$  de zinc ) alors que les perméabilités magnétiques relatives du substrat peuvent être très différentes. Par ailleurs, comme il ressort de la figure 3, la part de la puissance dissipée par effet Joule dans un substrat à caractéristiques électromagnétiques variables reste quand-même insignifiante, c'est-à-dire comprise entre seulement 3% et 6%.

Il apparaît donc ici que le paramètre de mesure nouvellement choisi permet aux fréquences élevées définies de mesurer l'épaisseur de n'importe quel revêtement électroconducteur appliqué sur un substrat ferromagnétique quelconque, ceci d'une façon continue et pour des vitesses de défilement très élevées de l'ordre de grandeur d'une centaine de mètres à la seconde.

La figure 5 montre une configuration qui produit un champ magnétique coaxial par rapport à l'axe du produit 55 en défilement. Ce produit 55, dont l'épaisseur du revêtement est à déterminer, est entouré d'une bobine solénoïdale 51 qui se trouve dans une enceinte en ferrit 54 comme blindage externe. Cette configuration convient bien si le revêtement est assez régulier, comme c'est le cas pour les dépôts effectués par voie chimique ou électrolytique.

La figure 6 a pour objet une configuration qui produit un champ orthogonal par rapport à l'axe de défilement du produit 65. Ce produit 65 à mesurer défile dans l'entrefer d'un aimant en forme de C constitué par un ferrit 64 et deux bobines 61 et 62 branchées en série. On peut assurer un contrôle encore plus complet en branchant avant ou après l'ensemble principal tel que décrit et illustré, au moins encore un autre système identique, qui se trouve lui aussi sur l'axe virtuel du produit, mais est décalé le long de cet l'axe et est tourné de  $90^\circ$  par rapport à celui-là. Ces configurations conviennent surtout si les revêtements sont assez inhomogènes, ce qui est le cas plus pour les revêtements produits par trempage à chaud que pour ceux obtenus par voie chimique ou électrolytique. En effet ces systèmes mesurent le long de chaque fois 2 côtés opposés du produit en défilement, c'est-à-dire le long de  $nx2$  faces, où  $n$  est le nombre de systèmes de mesure.

Suivant la figure 7 on produit un champ rotatif perpendiculaire à l'axe de défilement du produit 75. Ce produit se trouve entouré de trois bobines 71, 72 et 73 qui sont décalées de  $120^\circ$  les unes par rapport aux autres et qui sont alimentées par des tensions déphasées de  $120^\circ$ . L'ensemble comprend par ailleurs l'enceinte périphérique en ferrit 74. Ce système permet d'effectuer un contrôle complet d'un revêtement irrégulier à un endroit donné et sur toute sa périphérie, c'est-à-dire indépendamment de la position angulaire du produit.

Un circuit électronique très simple, qui permet d'afficher directement une valeur proportionnelle à la charge par unité de surface du revêtement, c'est-à-dire à l'épaisseur du revêtement, est représenté par la figure 8. La base de ce circuit est un oscillateur dont

la bobine (81) du circuit LC est en contact électromagnétique avec le produit revêtu. Cette bobine (81) peut avoir la configuration de bobine unique circulaire suivant la figure 5; elle peut aussi être constituée par les deux bobines en série représentées à la figure 6. La bobine (81) ensemble avec les condensateurs (82) et (83) déterminent la fréquence d'oscillation, tandis que le condensateur (84) a une capacité élevée par rapport aux condensateurs (82) et (83). La résistance (85) relie la source du transistor à effet de champ (86) à la masse tandis que le drain est connecté à l'alimentation en tension continue (87). La résistance (88) et le condensateur (89) forment un filtre passe bas de sorte que l'affichage (80) n'est pas exposé à la haute fréquence.

Le fonctionnement de ce circuit est basé sur la régulation de l'amplitude des oscillations. Le transistor à effet de champ est un amplificateur à gain variable en fonction de la tension moyenne appliquée au gate. La diode du gate du transistor joue le rôle d'un redresseur et produit une tension aux bornes du condensateur 84 qui est d'autant plus négative que l'amplitude des oscillations est forte. Le transistor est choisi de sorte que cette tension est toujours négative par rapport à la masse et la valeur absolue de cette tension est directement proportionnelle à l'épaisseur du revêtement.

La figure 9 montre le schéma de principe de l'électronique correspondant aux bobines de la figure 7. Les bobines (91), (92) et (93) sont alimentées par trois oscillateurs (94), (95) et (96) pareils à celui de la figure 8. Les oscillateurs (94) et (96) sont munis de capacités variables qui permettent de varier la fréquence respectivement la phase à l'aide d'une tension appliquée (VCO). Cette tension est fournie par les circuits de comparaison de phases (97) et (98) qui assurent une régulation (PLL) du déphasage relatif de  $-120^\circ$  pour l'oscillateur (94) et de  $+120^\circ$  pour l'oscillateur (96) par rapport à l'oscillateur (95). La valeur absolue du déphasage n'est pas critique. Ainsi l'ensemble des bobines (91), (92) et (93) produit un champ rotatif. Les tensions issues de la régulation de l'amplitude des oscillations des trois oscillateurs sont additionnées (99) pour produire une tension qui est proportionnelle à la charge globale du

revêtement. Cette tension peut être affichée et/ou enregistrée directement (90). Elle peut par contre aussi alimenter une entrée analogique d'un ordinateur qui assure la surveillance et la régulation du processus de traitement du produit.

Comme l'importance quantitative du dépôt du produit de revêtement est mesurée on line, cette mesure ne permet d'un côté d'intervenir sans décalage important dans le temps sur les instruments qui règlent les paramètres importants du processus de traitement, comme la température du bain, la vitesse de défilement du substrat, l'intensité de refroidissement de la couche déposée, etc. D'un autre côté on peut en plus établir pour le client, soit des relevés avec tout ou partie des profils de revêtements, soit des certificats attestant le respect des tolérances imposées.

R e v e n d i c a t i o n s :

1. Procédé pour mesurer de façon non destructrice et sans contact, ainsi que par une voie directe et continue l'épaisseur d'un revêtement électroconducteur sur un substrat allongé ferromagnétique en défilement, caractérisé en ce que l'on mesure en continu, pour des fréquences préétablies données, les pertes par effet Joule des courants de Foucault induits dans le produit revêtu par un champ magnétique alternatif, les valeurs de mesure présentant une relation directe et monotone avec l'épaisseur du revêtement.

2. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que la fréquence d'excitation du champ magnétique alternatif est choisie de sorte que la pénétration naturelle des courants de Foucault dans le matériel du revêtement est assez proche de l'épaisseur visée du revêtement à appliquer.

3. Procédé suivant l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que les fréquences d'excitation sont comprises entre 1 MHZ et 100 MHZ.

4. Procédé suivant une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le champ magnétique est induit par une bobine et en ce qu'il est coaxial au produit en défilement.

5. Procédé suivant une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le champ magnétique est induit par deux bobines en série et en ce qu'il est orthogonal par rapport à l'axe de défilement du produit.

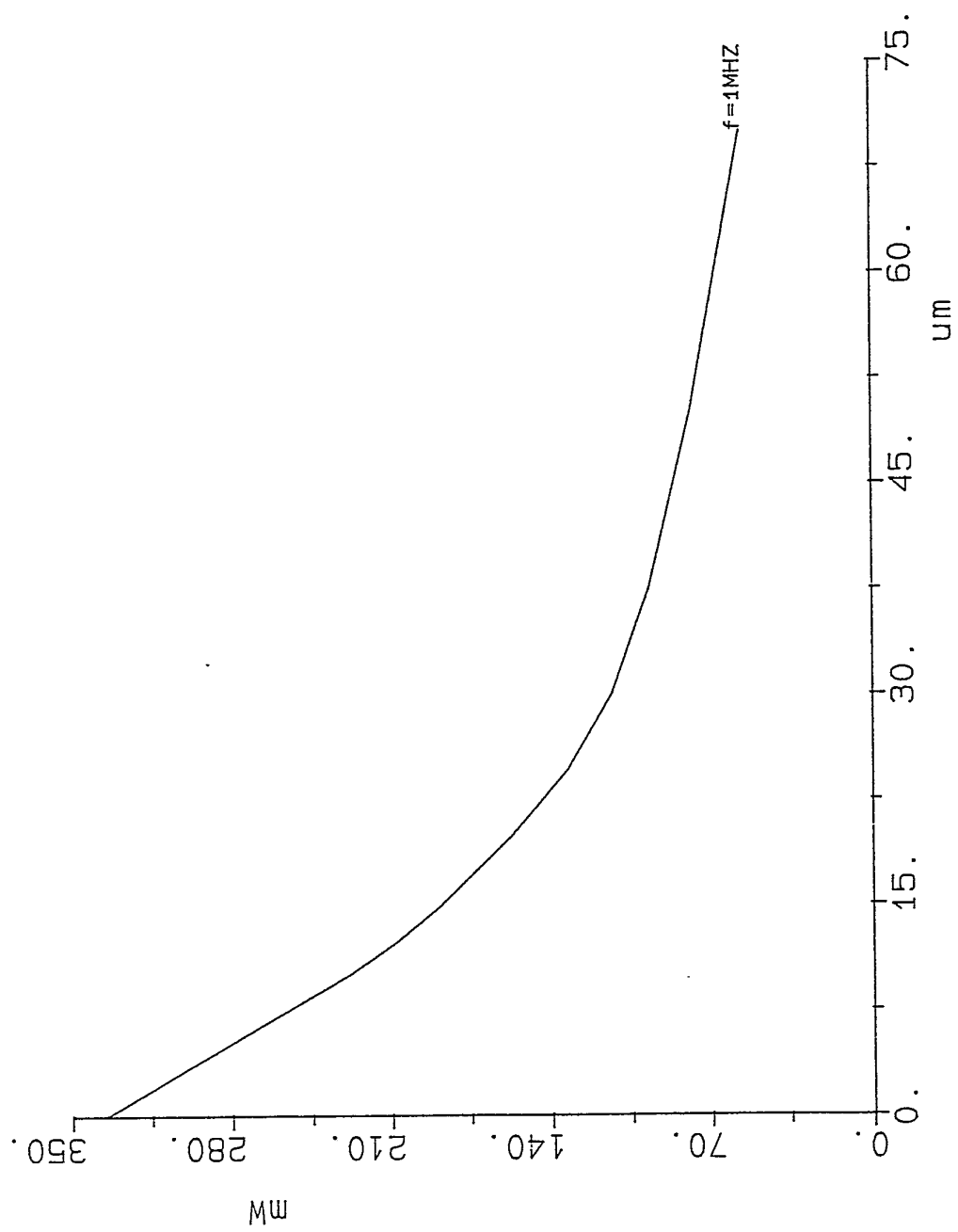
6. Procédé suivant la revendication 5, caractérisée en ce que au moins un deuxième champ est induit en amont ou en aval du premier et est déplacé angulairement par rapport à celui-là.

7. Procédé suivant une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le champ magnétique est induit par trois bobines et en ce qu'il est orthogonal à l'axe de défilement du produit et tourne autour de cet axe.

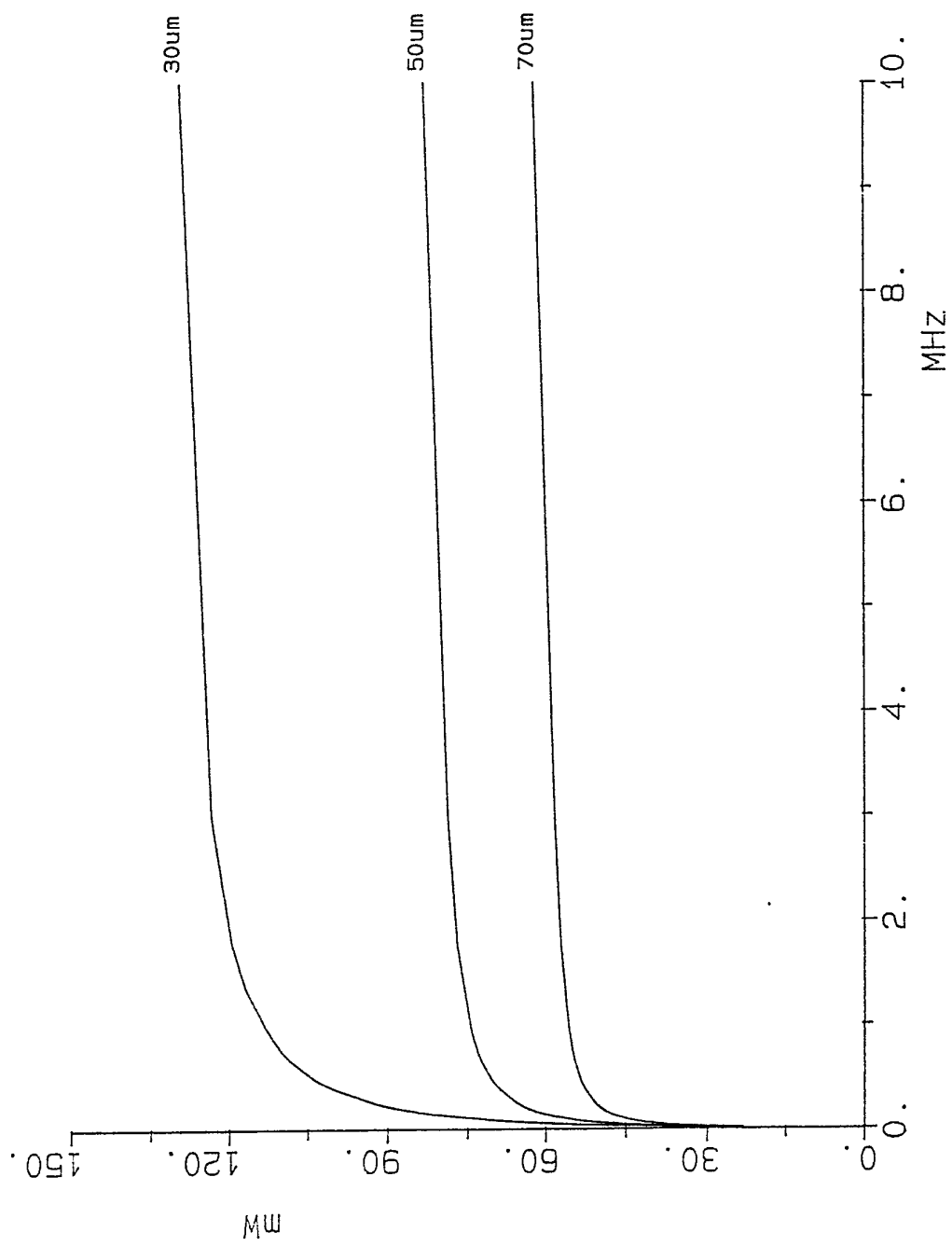
8. Capteur pour mesurer directement et en continu l'épaisseur d'un revêtement électroconducteur sur un substrat allongé ferromagnétique en défilement, caractérisé en ce qu'il consiste en un oscillateur composé d'un circuit LC et d'un amplificateur à gain variable branché en boucle fermée.

9. Capteur suivant la revendication 8, caractérisé par une boucle de régulation limitant l'amplitude des oscillations.

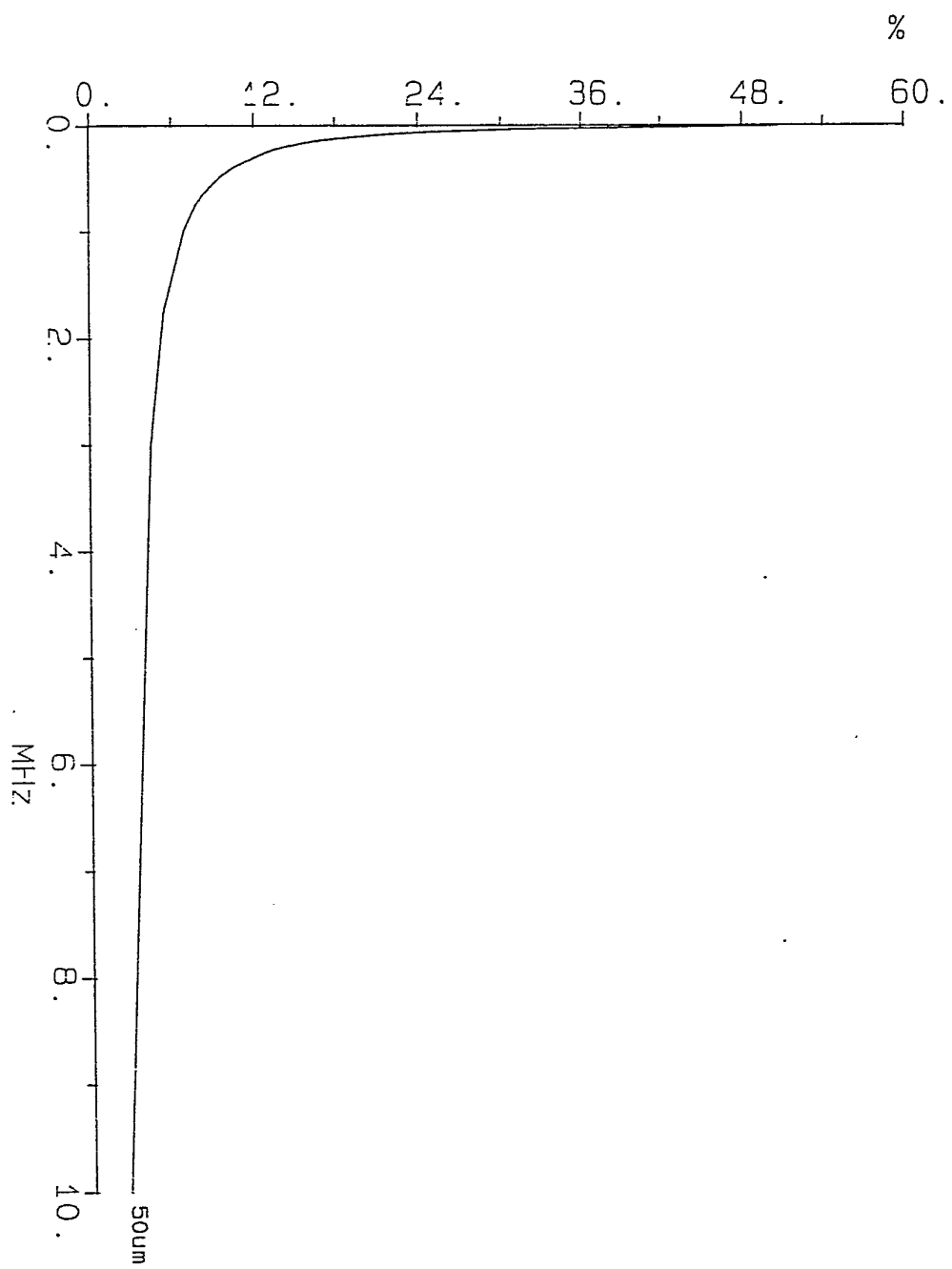
10. Capteur suivant la revendication 8, caractérisée par un ensemble de trois oscillateurs muni d'une régulation du déphasage relatif.



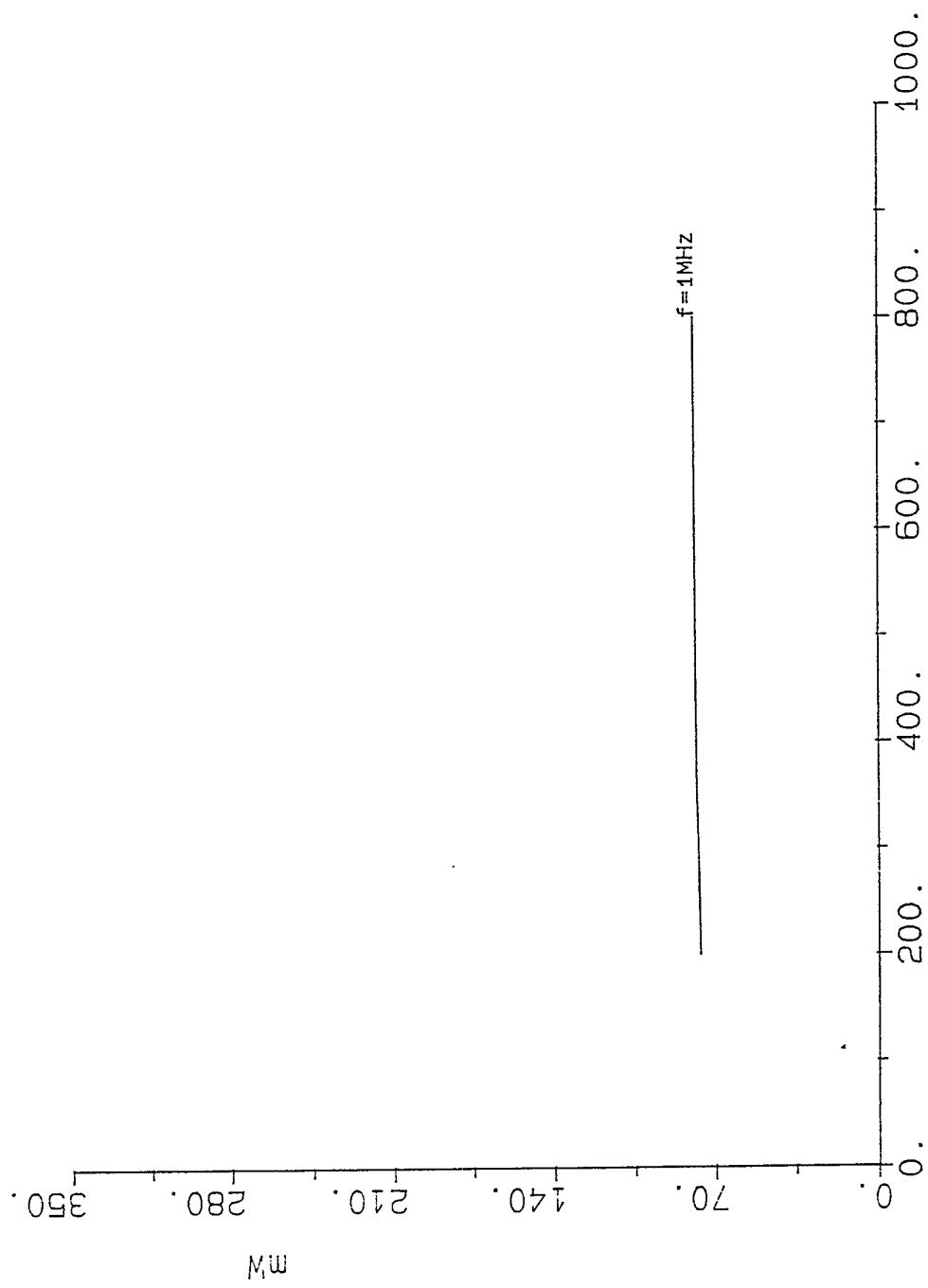
**Fig. 1**



**Fig. 2**



**Fig. 3**



**Fig. 4**

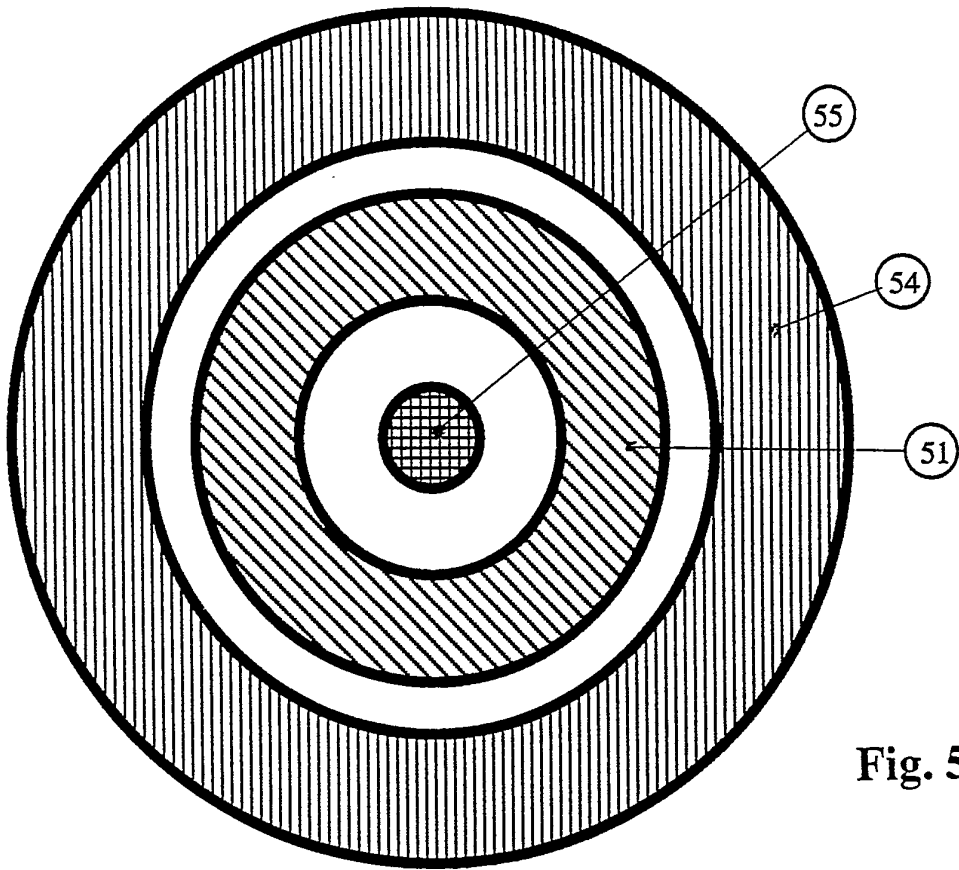


Fig. 5

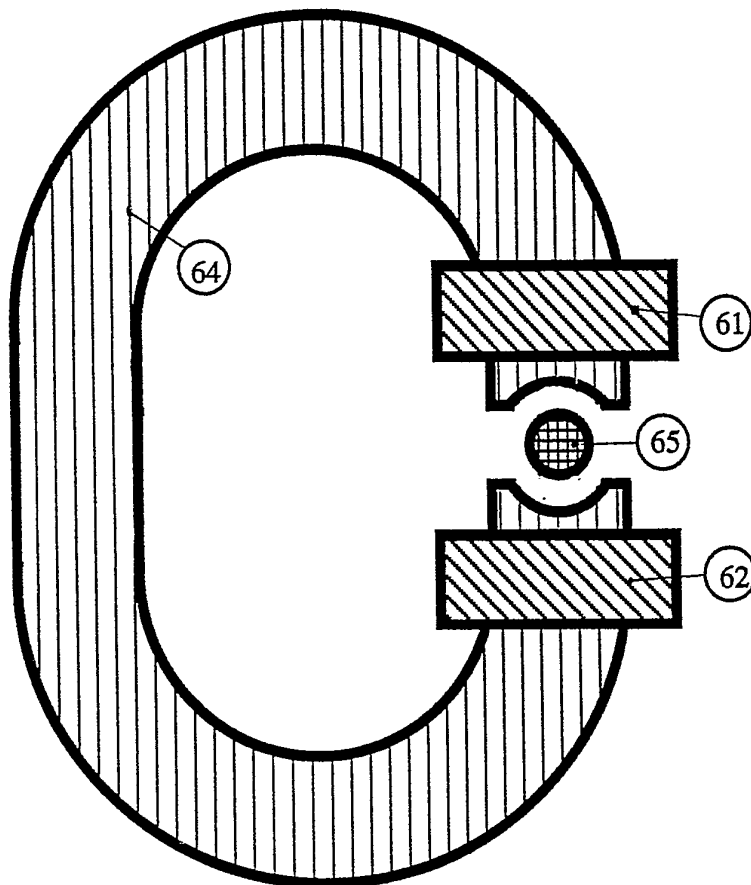


Fig. 6

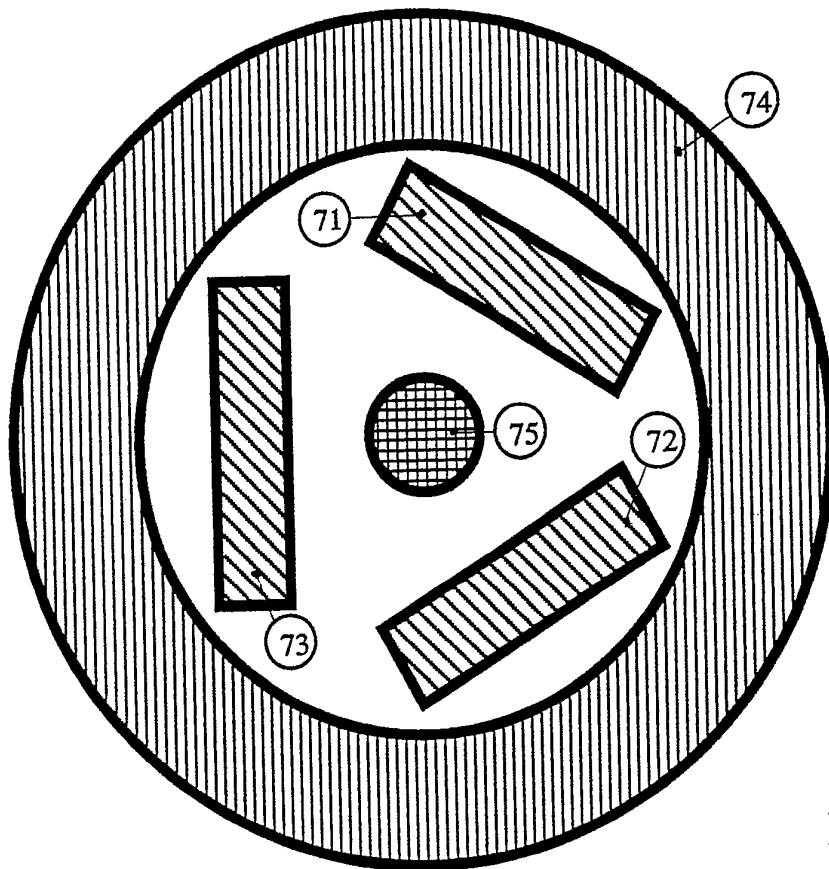


Fig. 7

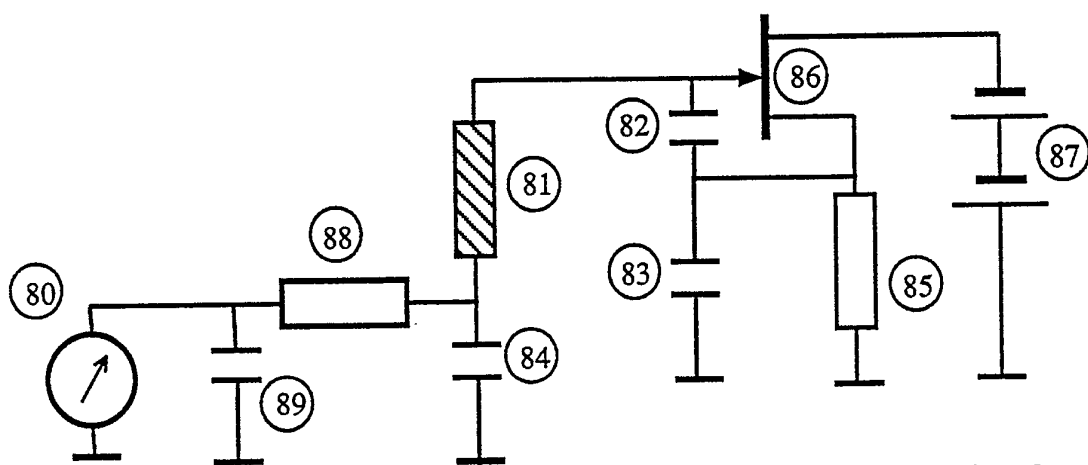


Fig. 8

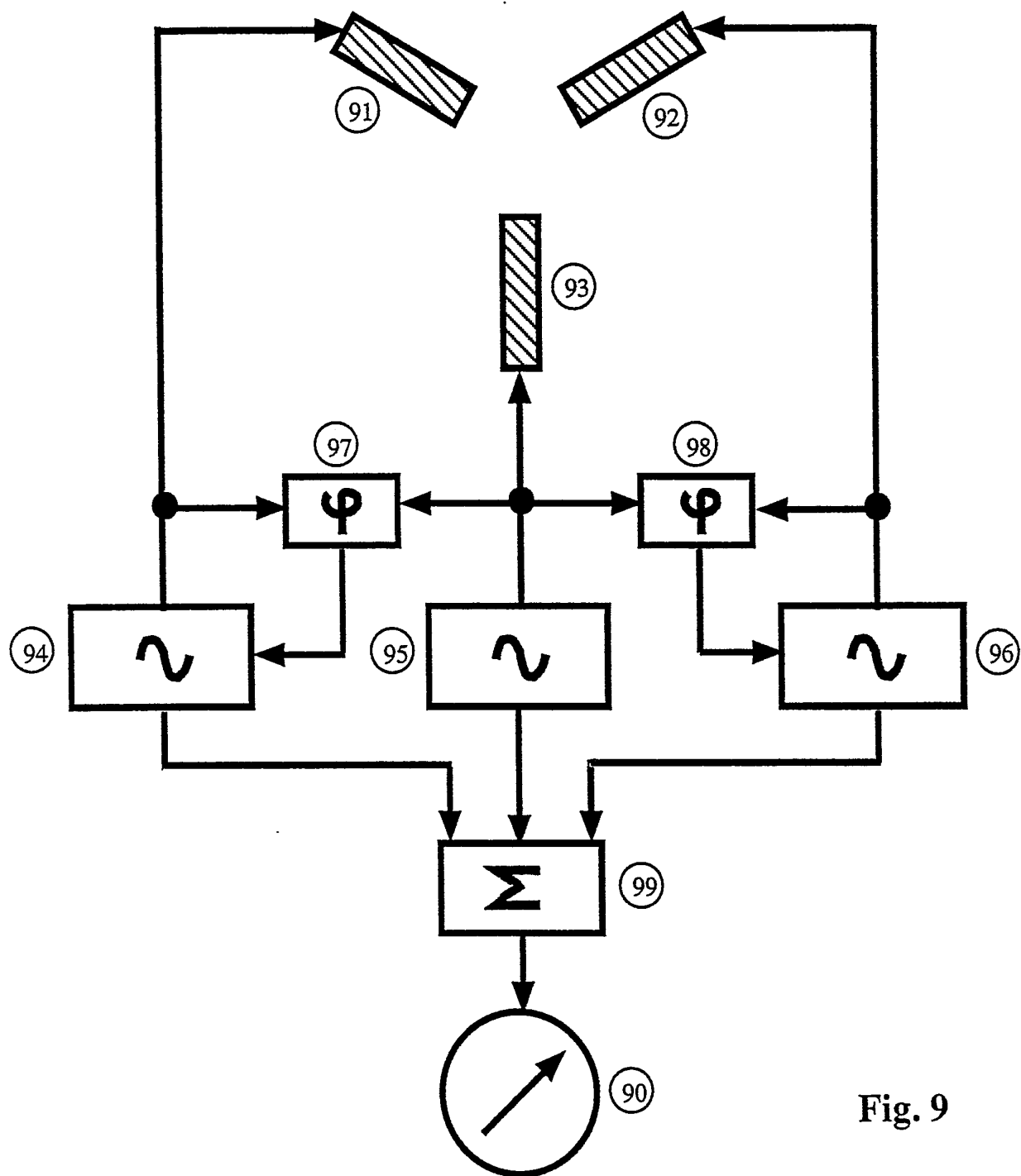


Fig. 9