RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 496 896**
(A n'utiliser que pour les commandes de reproduction).

A1

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

(21) **N° 81 23975**

(54) **Dispositif de mesure de puissance ou d'énergie électriques.**

(51) Classification internationale (Int. Cl.³). **G 01 R 21/08.**

(22) Date de dépôt..... 22 décembre 1981.
(33) (32) (31) Priorité revendiquée : *Suisse, 24 décembre 1980, n° 9569/80-7.*

(41) Date de la mise à la disposition du public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 25 du 25-6-1982.

(71) Déposant : LGZ, LANDIS & GYR ZUG AG, résidant en Suisse.

(72) Invention de : Jan Petr et Heinz Lienhard.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet Regimbeau, Corre, Martin et Schrimpf,
26, av. Kléber, 75116 Paris.

La présente invention concerne un dispositif de mesure de puissance ou d'énergie électriques comportant un multiplicateur auquel est appliqué un signal électrique proportionnel à la tension de mesure et qui est exposé à un champ magnétique extérieur proportionnel au courant de mesure passant sur un conducteur de mesure.

On connaît déjà un dispositif de mesure de puissance ou d'énergie électriques de ce type (H.H. Wieder, Hall Generators and Magnetoresistors) (Générateurs Hall et magnétorésistances), Pion Limited, Londres 1971, page 86), dans lequel on utilise comme multiplicateur un générateur Hall. Le champ magnétique extérieur est couplé avec l'intérieur du générateur Hall au moyen d'un noyau magnétique. D'après l'ouvrage cité ci-dessus (pages 74 et 77), on connaît également un multiplicateur, qui comporte un montage en pont formé de deux sources de tension ou résistances fixes et de deux magnétorésistances ("Magnetoresistors").

Dans les générateurs Hall et les magnétorésistances, il est bien connu qu'on utilise un effet galvanomagnétique se produisant dans les semi-conducteurs. Le champ magnétique à mesurer est ainsi couplé perpendiculairement au plan principal du semi-conducteur en forme de plaquette, ce qui, en raison de la sensibilité sans cela faible du générateur Hall ou des magnétorésistances ne serait possible qu'au moyen d'un noyau magnétique d'efficacité suffisante. Les inconvénients sont en outre la grande dépendance de la température et la faible linéarité.

On connaît en outre un détecteur de courant pour la mesure d'un courant de mesure passant sur un conducteur de mesure (IEEE Transactions ou Magnetics, nov. 1976, pages 813-815), dans lequel quatre paires de couches minces magnétorésistives ferromagnétiques

forment un pont. Les couches minces de chaque paire sont couplées magnétostatiquement entre elles de telle manière que le courant passant dans l'une des couches minces de chaque paire engendre un champ magnétique auxiliaire dans l'autre couche mince de la même paire. Le champ magnétique extérieur engendré par le courant de mesure aimante les couches minces dans la direction de leur axe d'aimantation difficile. Comme l'intensité du champ auxiliaire est fonction du courant d'alimentation du pont, ce détecteur de courant ne peut pas être utilisé comme multiplicateur.

L'invention a pour objet de créer un dispositif de mesure de puissance ou d'énergie électriques, qui se caractérise par une plus faible dépendance de la température et qui ouvre la possibilité de coupler le champ magnétique extérieur avec l'intérieur du multiplicateur sans noyau magnétique.

A cet effet, suivant l'invention, le multiplicateur est un pont électrique constitué par quatre couches minces magnétorésistives ferromagnétiques et alimenté par le signal électrique précité; un champ magnétique auxiliaire indépendant dudit signal électrique est appliqué à chaque couche mince dans la direction de l'axe d'aimantation difficile de telle manière que l'aimantation dans chaque couche mince tourne en sens inverse de l'aimantation dans les deux couches minces qui sont directement reliées électriquement à la couche mince considérée; enfin, les couches minces sont exposées au champ magnétique extérieur de telle manière qu'elles soient aimantées par celui-ci dans la direction de leur axe d'aimantation difficile.

Suivant d'autres caractéristiques de l'invention :

- les couches minces sont disposées dans un plan commun et sont couplées sans noyau magnétique avec le

champ magnétique extérieur;

- le conducteur de mesure est un conducteur plat ou une bobine plate et les couches minces sont disposées dans un plan parallèle audit conducteur de mesure;
- il est prévu un second pont analogue au premier, alimenté par une source de courant ou de tension et exposé au champ magnétique extérieur, tandis que sa sortie est connectée à des entrées d'un amplificateur différentiel, et un second signal électrique proportionnel au courant de mesure est appliqué à une autre entrée dudit amplificateur différentiel, tandis que la sortie de celui-ci est reliée à une boucle conductrice, dont le courant engendre le champ magnétique extérieur;
- il est prévu un troisième pont analogue aux deux premiers, alimenté par la source de courant ou de tension précitée et exposé par couplage sans noyau magnétique à un champ magnétique de mesure engendré par le courant de mesure passant sur le conducteur de mesure ainsi qu'à un champ magnétique de compensation, troisième pont dont la sortie est connectée à un second amplificateur différentiel, et la sortie de celui-ci est reliée à une seconde boucle conductrice, dont le courant engendre le champ magnétique de compensation;
- pour engendrer les champs auxiliaires, il est prévu une troisième boucle conductrice parcourue par le courant;
- en variante du paragraphe précédent, la génération des champs auxiliaires est assurée par des couches à aimantation permanente.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description détaillée qui suit et à l'examen des dessins joints qui en représentent, à titre d'exemples non limitatifs, quelques formes d'exécution.

Sur ces dessins :

la Fig. 1 est un schéma de principe d'un compteur statique d'électricité;

la Fig. 2 est une vue en perspective de parties d'un multiplicateur;

les Fig. 3 et 4 représentent des variantes d'un pont, et

la Fig. 5 est un autre schéma de principe de compteur statique d'électricité.

Sur la Fig. 1, les références 1 à 4 désignent quatre couches minces magnétorésistives ferromagnétiques, qui forment un pont électrique 5. Ce pont 5 représente un multiplicateur muni de bornes de sortie 6, 7; il est relié, par l'intermédiaire d'un diviseur de tension constitué par deux résistances 8, 9, à une tension de mesure U_m et, par conséquent, est alimenté par un courant I_o proportionnel à la tension de mesure U_m. Un courant de mesure I_m passant sur un conducteur de mesure 10 engendre un champ magnétique extérieur H_a avec lequel les couches minces 1 à 4 sont couplées sans noyau magnétique. La tension U_b du pont, qui apparaît aux bornes de sortie 6, 7, est appliquée à l'entrée d'un amplificateur différentiel 11, qui amplifie ladite tension U_b du pont avec un gain constant et dont la tension de sortie U_a est appliquée à un convertisseur tension/fréquence 12. Un compteur 13 compte les impulsions de sortie du convertisseur tension/fréquence 12.

Sur la Fig. 2 qui n'est pas dessinée à l'échelle, les couches minces 1 à 4 s'étendent dans un plan commun. Au-dessous des couches minces 1 à 4 est disposé le conducteur 9, 10. Au-dessus des couches minces 1 à 4 et en alignement avec celles-ci sont disposées dans un plan commun quatre couches à aimantation permanente 14 à 17. Le conducteur de mesure 10, les couches minces 1 à 4 et les couches 14 à 17 sont isolés

entre eux par des couches d'isolement non représentées.

Le courant de mesure I_m présent sur le conducteur de mesure 10 passe dans la direction de l'axe d'aimantation facile EA des couches minces 1 à 4. Comme conducteur de mesure 10, on utilise avantageusement un conducteur plat ou une bobine plate, tandis que les couches minces 1 à 4 du pont 5 sont disposées dans une zone, dans laquelle le champ magnétique extérieur H_a engendré par le courant de mesure I_m est homogène et aimante les couches minces 1 à 4 dans la direction de leur axe d'aimantation difficile HA. Comme les couches minces 1 à 4 et le conducteur de mesure 10 peuvent être disposés à très faible distance les unes au-dessus de l'autre dans des plans parallèles entre eux et n'ont besoin d'être isolés entre eux que par une couche de faible épaisseur, aucun noyau magnétique n'est nécessaire et le couplage sans noyau magnétique du champ extérieur H_a dans les couches minces 1 à 4 s'effectue néanmoins avec une grande efficacité.

Comme représenté sur la Fig. 3, les deux extrémités arrière (sur les Fig. 2 et 3) des couches minces 1, 2 et les deux extrémités avant des couches minces 3, 4 sont connectées au diviseur de tension 8, 9 (Fig. 1), qui injecte le courant I_o dans le pont 5. L'extrémité avant de la couche mince 2 ainsi que l'extrémité arrière de la couche mince 4 sont reliées à la borne de sortie 6 du pont 5 et l'extrémité avant de la couche mince 1 ainsi que l'extrémité arrière de la couche mince 3 sont reliées à la borne de sortie 7 dudit pont.

L'aimantation orientée vers la droite +H de la couche à aimantation permanente 14 (Fig. 2) engendre dans la couche mince 1 s'étendant au-dessous d'elle (ou au-dessus d'elle) un champ auxiliaire orienté vers la gauche $+H_b$ (Fig. 3), moyennant quoi le vecteur d'aiman-

tation M dans la couche mince 1 tourne dans le sens anti-horaire d'un angle déterminé vers l'extérieur à partir de l'axe d'aimantation facile EA. D'une manière analogue, l'aimantation +H de la couche 17 produit dans la couche mince 4 un champ auxiliaire $+H_b$ et une rotation du vecteur d'aimantation M dans le sens anti-horaire. L'aimantation -H des couches 15 et 16 produit dans les couches minces 2 et 3 un champ auxiliaire orienté vers la droite $-H_b$ et une rotation du vecteur d'aimantation M dans le sens horaire.

Les champs auxiliaires $+H_b$ et $-H_b$, respectivement, sont donc appliqués dans la direction de l'axe d'aimantation difficile HA de telle manière que l'aimantation dans chacune des couches minces 1 à 4 tourne en sens inverse de l'aimantation dans les deux couches minces 2, 3 ou 1,4, respectivement, directement reliées électriquement à la couche mince considérée. La variation de résistance résultant de cette rotation de l'aimantation est la même dans toutes les couches minces 1 à 4 et le pont 5 reste en équilibre.

Dès que le pont 5 est exposé au champ magnétique extérieur H_a, la résistance électrique varie de façon différente dans les diverses couches minces prémagnétisées 1 à 4 et il apparaît une tension de pont U_b.

A l'intérieur de la gamme de variation admissible, qui est limitée par le fait que l'une des couches minces de chacune des paires de couches minces 1, 2 et 3, 4 se sature, on a :

$$U_b = \frac{2 \cdot \Delta R}{(1 + \gamma)^2} \cdot I_o \cdot h_b \cdot h_a$$

où :

ΔR est la variation de résistance maximale des couches minces,

$\gamma = \frac{N.M_s}{H_k}$, un facteur de démagnétisation normalisé,

N, le facteur de démagnétisation dans les couches minces,

M_s, la saturation magnétique,

H_k, l'intensité de champ d'anisotropie,

$h_b = \frac{H_b}{H_k}$ et

$h_a = \frac{H_a}{H_k}$

La tension de pont U_b est donc proportionnelle au courant I_o ainsi qu'au champ magnétique extérieur H_a et, par conséquent, au produit $U_m.I_m$. A la sortie de l'amplificateur différentiel 11, une tension U_a rapportée au potentiel zéro, séparée galvaniquement du conducteur de mesure 10, est disponible en tant que représentation de la puissance électrique et, sur le compteur 13, on peut lire l'énergie électrique. En comparaison de ce qui se passe dans les multiplicateurs constitués par des générateurs Hall ou des magnétorésistances, la formation du produit $U_m.I_m$ n'est affectée que d'une erreur de température beaucoup plus faible.

L'intensité des champs auxiliaires H_b doit être constante et en outre, indépendante du courant I_o, car elle intervient directement dans le résultat de la mesure. La tension de pont U_b et, par conséquent, la précision de mesure qu'on peut obtenir sont maximales si l'on choisit :

$h_b = \frac{1 + \gamma}{2}$

Comme représenté sur la Fig. 4, la génération des champs auxiliaires H_b peut s'effectuer au moyen d'une boucle conductrice 18 qui est disposée, au lieu des couches à aimantation permanente 14 à 17, à faible

distance au-dessous ou au-dessus des couches minces 1 à 4, est isolée de celles-ci et est parcourue par un courant auxiliaire I_b.

Le convertisseur tension/fréquence 12 peut fonctionner selon le procédé connu de l'inversion de polarité périodique, qui se caractérise par une grande précision et par la suppression d'erreurs de point zéro. L'inversion périodique alors nécessaire du signe de la multiplication peut s'effectuer au moyen d'un commutateur analogique qui, par exemple, inverse la polarité du courant I_o, du courant auxiliaire I_b ou de la tension de pont U_b.

Sur la Fig. 5, les éléments identiques à ceux de la Fig. 1 sont désignés par les mêmes caractères de référence que sur celle-ci. Outre le pont 5, il est prévu un second pont analogue 19, qui est alimenté par une source de courant ou de tension 20 et est exposé, conjointement avec le pont 5, au champ magnétique extérieur H_a. Ce champ extérieur H_a est bien proportionnel au courant de mesure I_m ou à une tension d'entrée U_x mais il n'est pas engendré directement par le courant de mesure I_m mais par un courant I_a passant dans une boucle conductrice 21. La boucle conductrice 21 prend donc sur la Fig. 2 la place du conducteur de mesure 10. La sortie du pont 19 est connectée à des entrées d'un amplificateur différentiel 22 à gain très élevé. A une autre entrée de l'amplificateur différentiel 22 est appliquée la tension U_x proportionnelle au courant de mesure I_m.

Le pont 19, l'amplificateur différentiel 22 et la boucle conductrice 21 forment une boucle de régulation, qui règle le champ extérieur H_a de telle manière que la différence entre la tension de sortie U_{b1} du pont 19 et la tension d'entrée U_x soit minimale, de sorte qu'avec une tension d'alimentation constante du

pont 19, un champ extérieur H_a proportionnel à la tension d'entrée U_x est établie. A la sortie de l'amplificateur différentiel 11 apparaît une tension U_a proportionnelle au produit $U_x.U_m$. Les non-linéarités éventuelles des ponts 5 et 19 en fonction du champ extérieur H_a se compensent mutuellement, de sorte que seule la différence entre les deux erreurs de linéarité peut encore agir sur le résultat de la mesure.

Pour engendrer la tension d'entrée U_x à partir du courant de mesure I_m avec une séparation galvanique des deux circuits, on peut utiliser un convertisseur de courant classique. Il est toutefois plus avantageux de prévoir à cet effet un troisième pont 23 analogue aux ponts 5 et 19 et également alimenté à partir de la source de courant ou de tension 20. Le pont 23 est exposé par couplage sans noyau magnétique à un champ magnétique de mesure H_m ainsi qu'à un champ magnétique de compensation H_h orienté en sens inverse du champ H_m. Le champ magnétique de mesure H_m est engendré par le courant de mesure I_m passant sur le conducteur de mesure 10. La sortie du pont 23 est connectée à un amplificateur différentiel 24, qui présente un gain très élevé et dont la sortie est reliée à une boucle conductrice 25. En série avec la boucle conductrice 25 est montée une résistance 26, à travers laquelle la tension d'entrée U_x s'abaisse.

Le courant de compensation I_h passant dans la boucle conductrice 25 engendre le champ magnétique de compensation H_h. Par suite de l'action de la boucle de régulation constituée par le pont 23, l'amplificateur différentiel 24 et la boucle conductrice 25, le courant de compensation I_h s'établit de telle manière que la différence entre le champ magnétique de mesure H_m et le champ magnétique de compensation H_h est minimale et qu'on a $I_h = I_m$. Par suite de l'équilibrage du

champ différentiel $H_m - H_h$ agissant sur le pont 23, la proportionnalité entre la tension d'entrée U_x et le courant de mesure I_m n'est pas influencée par des erreurs de linéarité éventuelles du pont 23.

Le compteur statique d'électricité décrit en référence à la Fig. 5 se caractérise, grâce aux deux boucles de régulation, par une précision de mesure particulièrement bonne. La complexité technique pourrait, il est vrai, sembler assez grande au premier abord mais en fait elle n'entre pas en ligne de compte car des noyaux magnétiques ne sont pas nécessaires et les couches minces des ponts 5, 19 et 23, les composants électroniques et les boucles conductrices 21 et 25, éventuellement réalisées sous forme de bobines à couche mince, peuvent être fabriqués en technique de circuits intégrés et être rassemblés sur une seule et même plaquette de semi-conducteurs.

- REVENDICATIONS -

1 - Dispositif de mesure de puissance ou d'énergie électriques comportant un multiplicateur, auquel est appliqué un signal électrique proportionnel à la tension de mesure, et qui est exposé à un champ magnétique extérieur proportionnel au courant de mesure passant sur un conducteur-de mesure, ledit dispositif étant caractérisé en ce que le multiplicateur est un pont électrique (5) constitué par quatre couches minces magnétorésistives ferromagnétiques (1 à 4) et alimenté par le signal électrique (I_o), en ce qu'à chaque couche mince (1 à 4) un champ magnétique auxiliaire (H_b) indépendant du signal électrique (I_o) est appliqué dans la direction de l'axe d'aimantation difficile (HA), en ce que l'aimantation (M) dans chaque couche mince (1 à 4) tourne en sens inverse de l'aimantation (M) dans les deux couches minces (2 ; 3 ou 1 ; 4) directement reliées électriquement à la couche mince (1, 2, 3 ou 4) considérée et en ce que les couches minces (1 à 4) sont exposées au champ magnétique extérieur (H_a) de telle manière qu'ils sont aimantés par ce champ dans la direction de leur axe d'aimantation difficile (HA).

2 - Dispositif suivant la revendication 1, caractérisé en ce que les couches minces (1 à 4) sont disposées dans un plan commun et sont couplées avec le champ magnétique extérieur (H_a) sans noyau magnétique.

3 - Dispositif suivant la revendication 2, caractérisé en ce que le conducteur de mesure (10) est un conducteur plat ou une bobine plate, et en ce que les couches minces (1 à 4) sont disposées dans un plan parallèle audit conducteur de mesure (10).

4 - Dispositif suivant la revendication 2, caractérisé en ce qu'il est prévu un second pont (19) analogue au premier, alimenté à partir d'une source de courant ou de tension (20) et exposé au champ magné-

tique extérieur (H_a), second pont dont la sortie est connectée à des entrées d'un amplificateur différentiel (22), en ce qu'un second signal électrique (U_x) proportionnel au courant de mesure (I_m) est appliqué à une autre entrée de l'amplificateur différentiel (22), et en ce que la sortie de l'amplificateur différentiel (22) est reliée à une boucle conductrice (21), dont le courant (I_a) engendre le champ magnétique extérieur (H_a).

5 - Dispositif suivant la revendication 4, caractérisé en ce qu'il est prévu un troisième pont (23) analogue aux deux premiers, alimenté à partir de la source de courant ou de tension (20) et exposé par couplage sans noyau magnétique à un champ magnétique de mesure (H_m) engendré par le courant de mesure (I_m) passant sur le conducteur de mesure (10) ainsi qu'à un champ magnétique de compensation (H_h), troisième pont dont la sortie est connectée à un second amplificateur différentiel (24), et en ce que la sortie du second amplificateur différentiel (24) est reliée à une seconde boucle conductrice (25), dont le courant (I_h) engendre le champ magnétique de compensation (H_h).

6 - Dispositif suivant l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que, pour engendrer les champs auxiliaires (H_b), il est prévu une autre boucle conductrice (18) parcourue par le courant.

7 - Dispositif suivant l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que, pour engendrer les champs auxiliaires (H_b), il est prévu des couches à aimantation permanente (14 à 17).

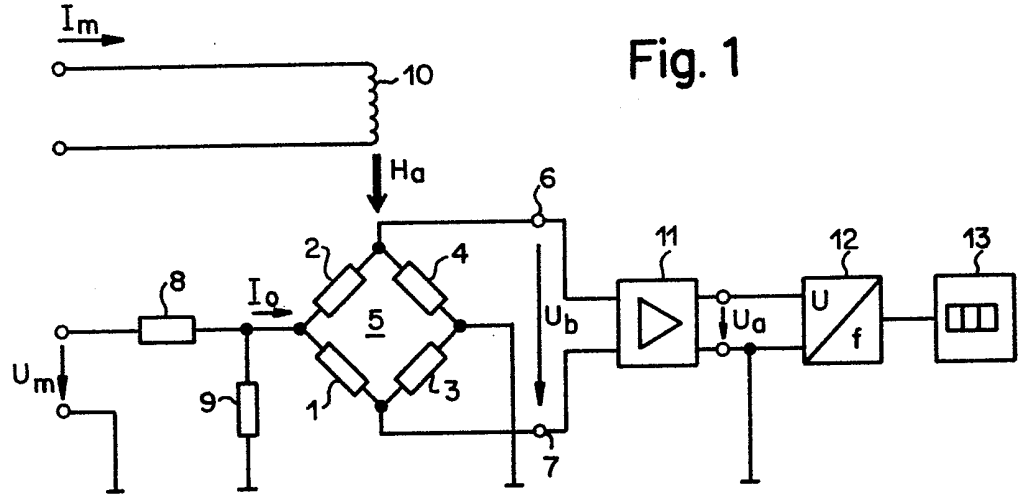


Fig. 1

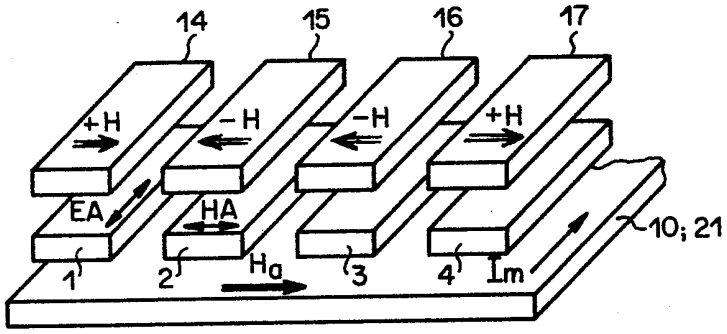


Fig. 2

Fig. 3

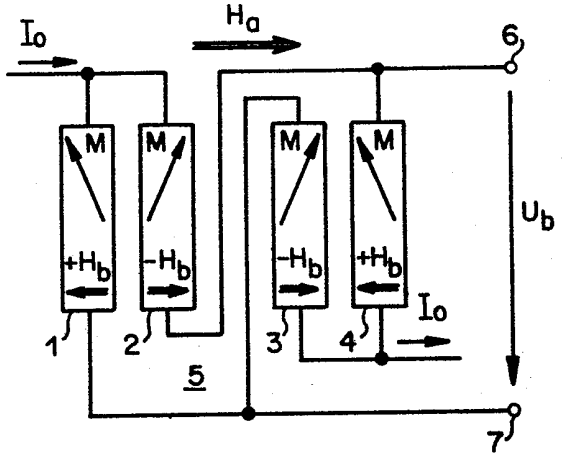


Fig. 4

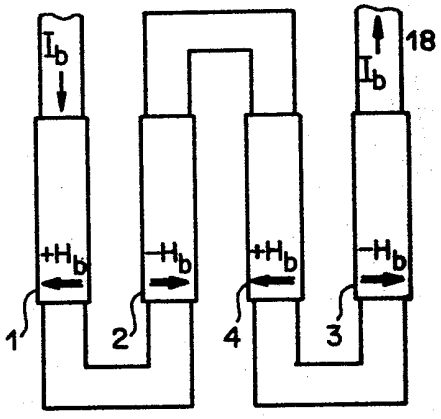
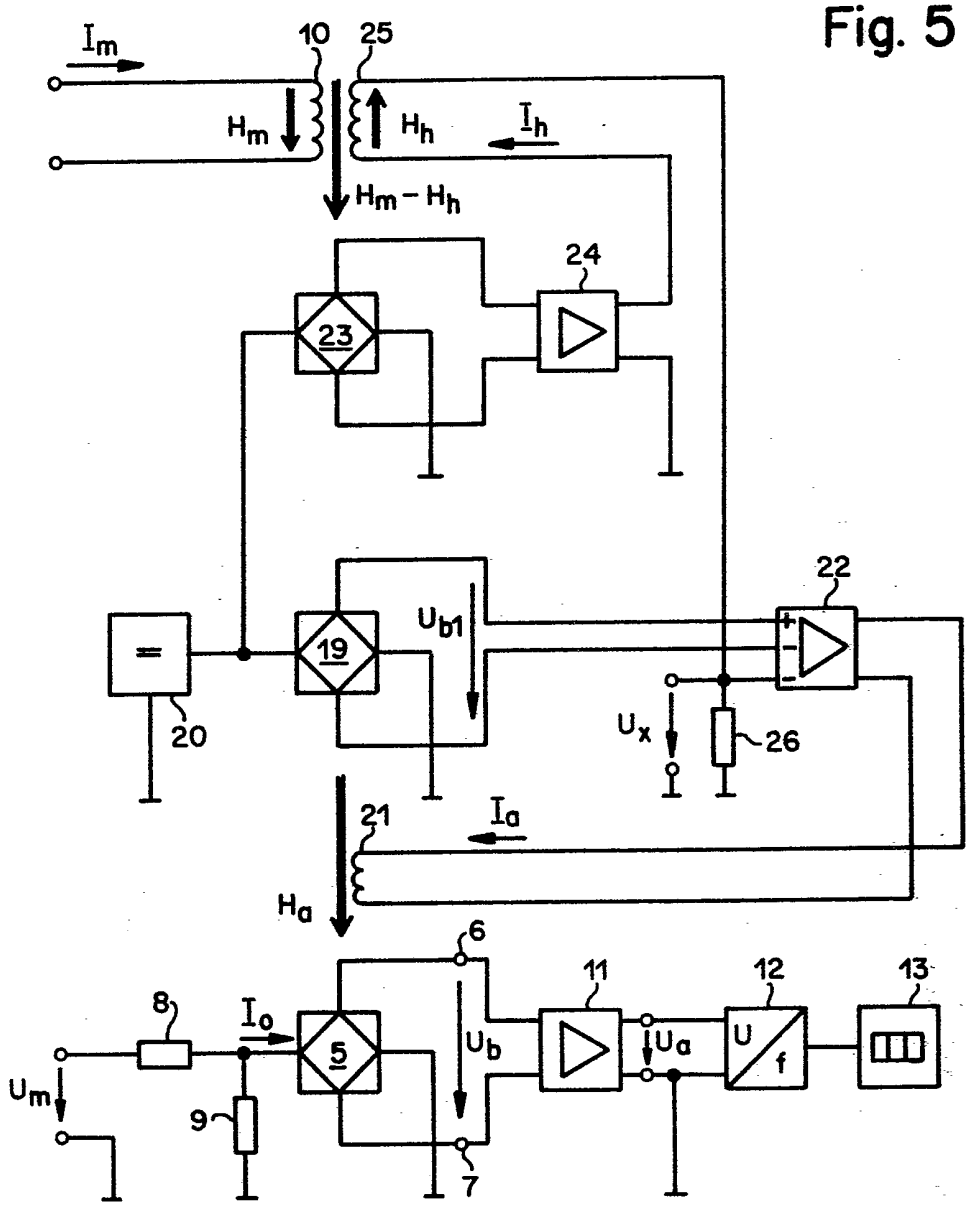


Fig. 5


Im
10
25
Hm
Hh
Ih
Hm – Hh
24
23
22
Ub1
19
=
20
Ux
26
21
Ia
Ha
6
11
12
13
8
Io
5
Ub
Ua
U
f
Um
9
7