

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :

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

**2 488 398**

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21) **N° 80 17284**

(54) Débitmètre électromagnétique.

(51) Classification internationale (Int. Cl. 3). G 01 F 1/58.

(22) Date de dépôt ..... 5 août 1980.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du  
public de la demande ..... B.O.P.I. — « Listes » n° 6 du 12-2-1982.

(71) Déposant : Société dite : AICHI TOKEI DENKI CO., LTD, résidant au Japon.

(72) Invention de : Kazuo Ueno.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Société de protection des inventions,  
25, rue de Ponthieu, 75008 Paris.

La présente invention concerne un débitmètre électromagnétique comportant deux électrodes en regard pour intercaler directement au moins une partie d'un liquide conducteur et un circuit magnétique servant à établir un flux magnétique qui coupe une ligne droite joignant les deux électrodes et la direction d'écoulement du liquide conducteur, ce flux permettant de calculer la vitesse d'écoulement d'un liquide à partir d'une tension produite entre les deux électrodes, cette tension dépendant du flux magnétique du circuit magnétique et du débit du liquide.

Dans un débitmètre électromagnétique, il est idéal d'utiliser un aimant permanent pour constituer un circuit magnétique, lorsqu'il suffit de veiller à la réduction de consommation électrique. Cependant, l'aimant permanent est rarement utilisé en raison du fait que, les polarités de tension de deux électrodes sont invariables et qu'une tension de contact et une tension de polarisation pouvant être produites par une réaction électrochimique, il peut en résulter une grande déviation du zéro d'un appareil de mesure.

L'utilisation d'un circuit magnétique à excitation par courant alternatif résoud le problème qui vient d'être mentionné. Cependant, de cette technique résulte un bruit déphasé de  $90^\circ$ . L'addition de ce bruit et du bruit ordinaire ne donne pas nécessairement un déphasage de  $90^\circ$  du fait que ce déphasage peut subir une variation. Il est donc difficile de contrôler le zéro absolu pendant l'écoulement du liquide.

Quand on utilise un circuit magnétique excité par un courant d'onde carrée, dont les polarités varient alternativement et dans le cas de l'utilisation de l'aimant permanent, on ne rencontre pas la même difficulté et on peut obtenir une évaluation de la déviation du zéro pendant l'écoulement du liquide, à partir de la

moyenne des valeurs obtenues quand il n'y a pas de variation de flux par rapport aux deux sens du courant. Une correction peut donc être faite en utilisant la valeur de la déviation du zéro obtenue. Cependant, 5 cette technique demande de concevoir un circuit pour que le courant d'excitation circule en permanence. Il en résulte une grande consommation électrique.

Les techniques connues qui viennent d'être mentionnées sont décrites dans les brevets des E.U.A. 10 n° 3 783 687, n° 3 802 262, n° 3 894 430, n° 4 010 644 et n° 3 777 561.

Un objet de la présente invention est un débitmètre électromagnétique dont la consommation électrique est diminuée.

15 Un autre objet de l'invention est un débitmètre électromagnétique permettant de mesurer de façon stable le débit d'un liquide sans qu'il y ait d'erreur due à une variation de température ambiante.

20 Un autre objet de l'invention est un débitmètre électromagnétique qui est insensible à toute variation de tension d'alimentation.

Une des caractéristiques de la présente invention est de produire dans un circuit magnétique, 25 un flux magnétique d'onde carrée avec des polarités variant alternativement, qui dure pendant un court intervalle de temps de chaque cycle mais de façon inter- mittente, pour permettre ainsi de garder l'avantage du débitmètre électromagnétique classique. Une autre caractéristique pour obtenir une réduction de consom- 30 mation électrique est d'engendrer un courant d'excitation magnétique dans le bobinage d'excitation magnétique, ce courant étant intermittent et instantané (c'est-à-dire de courte durée) dans chaque cycle avec des polarités variant alternativement, et de calculer 35 une vitesse d'écoulement de liquide en utilisant une tension produite conformément à un flux magnétique

rémant dans le circuit magnétique et à un débit du liquide, quand aucun courant d'excitation magnétique ne passe dans ce circuit.

- D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention seront mis en évidence dans la description suivante, donnée à titre d'exemple non limitatif, en référence aux dessins annexés dans lesquels :
- la figure 1 est un schéma d'un premier mode de réalisation de la présente invention ;
  - la figure 2 est une représentation graphique montrant la variation du flux magnétique en fonction du champ magnétique ;
  - la figure 3 est un schéma de circuit du premier mode de réalisation de l'invention, représenté sur la figure 1 ;
  - la figure 4 représente un groupe d'ondes qui sont utilisées pour expliquer le fonctionnement du circuit correspondant au premier mode de réalisation de l'invention ;
  - la figure 5 est un schéma d'un deuxième mode de réalisation de l'invention ;
  - la figure 6 est un graphique représentant la variation du flux magnétique en fonction du champ magnétique pour le deuxième mode de réalisation de l'invention ;
  - la figure 7 est une vue en coupe transversale du deuxième mode de réalisation modifié ;
  - la figure 8 est une vue en coupe longitudinale le long d'une ligne VIII-VIII de la figure 7 ;
  - la figure 9 est une vue en coupe transversale du débitmètre du deuxième mode de réalisation modifié ;
  - la figure 10 est une vue en coupe longitudinale, le long d'une ligne X-X de la figure 9 ;
  - la figure 11 est un schéma de circuit d'un troisième mode de réalisation de l'invention, dans

lequel les électrodes et une unité de calcul de débit de liquide, n'ont pas été représentées (étant les mêmes que celles du premier mode de réalisation de l'invention) ;

5 - la figure 12 est une courbe représentant la variation du courant d'excitation, dans le troisième mode de réalisation de l'invention ;

- la figure 13 est un schéma de circuit d'une partie modifiée du troisième mode de réalisation de 10 l'invention.

La figure 1 représente un premier mode de réalisation de l'invention et, en particulier, une vue en coupe transversale orthogonale à une direction d'écoulement du liquide. Un tube 1 pour l'écoulement 15 d'un liquide, réalisé dans un matériau non magnétique et non conducteur, s'étend sur un espace extrême, proche de la section transversale, mais le long de la direction longitudinale par rapport à cette section. Deux électrodes 2a et 2b sont prévues sur les parois 20 internes opposées du tube 1 pour intercaler directement une partie du liquide qui s'écoule ; ces électrodes sont tournées du côté du liquide. Les électrodes 2a et 2b sont connectées à une unité de calcul de débit de liquide 3, servant à calculer la vitesse d'écoulement du liquide 25 en utilisant une tension entre les deux électrodes 2a et 2b, au moyen de parties conductrices qui traversent respectivement les parois de côté du tube 1, de façon étanche.

Un circuit magnétique 4 comportant des pôles 30 magnétiques 4a et 4b entre lesquels est placé le tube 1, est prévu pour produire entre les pôles magnétiques 4a et 4b, un flux magnétique coupant une ligne droite joignant les deux électrodes 2a et 2b et la direction d'écoulement du liquide.

35 Le matériau composant le circuit magnétique 4 doit pouvoir être magnétisé facilement, présenter une

perméabilité élevée et une force coercitive relativement élevée. On peut utiliser pour cela de l'acier ordinaire.

- Les pôles magnétiques 4a et 4b comportent respectivement des bobinages d'excitation 5a et 5b qui 5 les entourent, ceux-ci permettant d'exciter le circuit magnétique 4. Les bobinages d'excitation ont chacun un grand diamètre et une résistance totale faible.

- Les deux bobinages d'excitation 5a et 5b sont connectés en série et couplés à un générateur de courant 10 d'excitation 6 pour alimenter chaque bobinage en courant d'excitation ; ce courant est intermittent et instantané (pendant une courte durée) et change alternativement de sens.

- Quand le courant d'excitation produit des 15 champs magnétiques  $+H_p$  et  $-H_p$  dans le circuit magnétique 4, la densité de flux magnétique B produite entre les pôles magnétiques 4a et 4b varie, conformément à la courbe de la figure 2. Quand le courant d'excitation diminue jusqu'à zéro, le champ magnétique passe au 20 zéro absolu et il est établi au point P ou au point  $P'$  de la courbe, car la perméance entre les pôles magnétiques 4a et 4b est faible. Dans ce cas, la densité de flux magnétique B est définie par les segments  $\overline{Ob}$  et  $\overline{Ob'}$  de la figure 2.

- 25 Pour rendre le flux magnétique rémanent élevé, il est préférable que la section droite du tube 1 soit rectangulaire et que l'espace entre les pôles magnétiques 4a et 4b soit étroit ; on obtient ainsi une grande perméance.

- 30 Le générateur de courant d'excitation 6 et l'unité de calcul de débit de liquide sont connectés pour répondre à des impulsions émises par une unité de commande 7 qui produit des signaux donnés en réponse à des impulsions engendrées par un seul oscillateur, 35 et pour fonctionner périodiquement dans un rapport de temps déterminé.

L'unité de commande 7 est constituée par un oscillateur 72 servant à engendrer un signal d'une fréquence donnée, un diviseur de fréquence 74 pour diviser la fréquence, et une porte 76. Des signaux PS<sub>1</sub> et PS<sub>2</sub> sont engendrés pour commander des commutateurs S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub> qui seront décrits dans la suite. Un signal SP est engendré pour commander un circuit d'échantillonnage 32 et un signal SR' est engendré pour commander un redresseur synchrone 34, l'ensemble de ces signaux étant engendrés selon une interdépendance prédéterminée dans le temps par le diviseur 74. Ces signaux sont transmis par l'intermédiaire de la porte 76.

Le générateur de courant d'excitation 6, qui est par exemple le circuit représenté dans la moitié supérieure de la figure 3, comporte une résistance fixe r dont la valeur est beaucoup plus grande que celle des bobinages 5a et 5b, qui est connectée en série dans le circuit série des bobinages d'excitation 5a et 5b, ce qui permet d'éliminer pratiquement toute influence néfaste d'un changement de température de la résistance de cuivre des bobinages d'excitation. Le générateur de courant d'excitation 6 comprend en outre un circuit série constitué par un condensateur C et un commutateur normalement ouvert S<sub>1</sub>, dont le temps de fermeture est faible. Les deux extrémités du circuit série sont connectées entre les deux extrémités du circuit série comprenant les deux bobinages 5a et 5b et la résistance fixe r, par l'intermédiaire d'un commutateur d'inversion de polarité S<sub>2</sub>. Le condensateur C est connecté par un circuit série comprenant une résistance R de valeur élevée et une source d'alimentation en courant continu de compensation. Dans un mode préféré de réalisation, le commutateur S<sub>1</sub> dont l'intervalle de temps de fermeture est petit et le commutateur d'inversion de polarité S<sub>2</sub> peuvent être construits avec des circuits électroniques ayant des fonctions équivalentes.

tes et qui fonctionnent sous la commande des impulsions périodiques  $PS_1$  et  $PS_2$  engendrées par l'unité de commande 7. Les états de fonctionnement des commutateurs  $S_1$  et  $S_2$  sont représentés sur les figures 4  
 5 (A) et 4 (B), sur lesquelles l'abscisse représente le temps et l'ordonnée représente les états de fonctionnement des commutateurs  $S_1$  et  $S_2$ . Comme représenté, la polarité de connexion du commutateur  $S_2$  est inversée périodiquement et le commutateur  $S_1$   
 10 est fermé pendant un court intervalle de temps, au milieu de chaque période de maintien de polarité, et il est ensuite ouvert immédiatement.

Par un tel fonctionnement des commutateurs, un courant d'excitation  $I$  passe dans les bobinages  
 15 d'excitation 5a et 5b, ce courant ayant une forme d'onde récurrente avec des polarités opposées alternées mais des amplitudes de mêmes valeurs absolues. On voit donc, sur la figure 2, qu'il en résulte un flux magnétique rémanent qui est produit dans les pôles magnétiques  
 20 4a et 4b, celui-ci ayant une forme d'onde d'amplitude effectivement fixe, à la suite de la forme d'onde pointue, tel que représenté sur la figure 4(D).

Dans le cas où, par exemple, le débit d'un liquide coulant dans le tube 1 décroît graduellement,  
 25 une tension produite entre les électrodes 2a et 2b varie proportionnellement au produit du flux magnétique représenté sur la figure 4(D) et du débit représenté sur la figure 4(E).

Le détail de l'unité de calcul de débit de  
 30 liquide 3 est représenté sous forme de blocs fonctionnels dans la partie inférieure de la figure 3. La tension entre les électrodes 2a et 2b est amplifiée par un premier amplificateur  $A_1$  et elle est appliquée à un circuit d'échantillonnage 32. Le circuit d'échantillonnage 32 reçoit des impulsions d'échantillonnage SP telles que celles représentées sur la figure 4(F),

chaque impulsion d'échantillonnage SP définissant une relation entre les impulsions  $PS_1$  et  $PS_2$ , telle que la partie de la forme d'onde de la figure 4 (E), pour laquelle le flux magnétique rémanent est déjà stable

5 et peut être échantillonné ; la partie de la forme d'onde de la figure 4 (E) pour laquelle le flux magnétique rémanent varie brusquement, ne peut pas être échantillonné . Avec de telles impulsions d'échantillonnage, le circuit d'échantillonnage 32 produit à partir

10 de la sortie du premier amplificateur  $A_1$  un signal de sortie dont la forme d'onde présente différentes amplitudes et une polarité variant alternativement.

Le signal de sortie du circuit d'échantillonnage 32 est amplifié par un second amplificateur  $A_2$  et il est

15 redressé de façon synchrone par le redresseur synchrone 34, de façon à obtenir des signaux de sortie intermittents variant proportionnellement au débit du liquide, ainsi qu'il est représenté par SR de la figure 4 (H).

Les signaux de sortie intermittents de polarité fixe

20 sont ramenés à une moyenne dans le temps, par un filtre 36 permettant d'obtenir une variation filtrée, comme il est indiqué par m sur la figure 4 (I), le filtre 36 transmettant à son tour l'information de vitesse de liquide instantanée à un compteur 38.

25 Les pointillés des figures 4 (D), 4 (E), 4 (G) et 4 (H) indiquent les tendances des variations des valeurs limites supérieures et inférieures.

Dans l'exemple de réalisation qui vient

d'être décrit, en sélectionnant convenablement la

30 fréquence du courant d'excitation qui est déterminée par l'impulsion de sortie de l'unité de commande 7, il est possible de restreindre la déviation du zéro, due à une réaction électrochimique sur les électrodes 2a et 2b, quand il n'y a pas de courant d'excitation,

35 dans les limites d'une tolérance pratique ; il est également possible de rendre le débit moyen du liquide

dans tout l'intervalle de temps de mesure du débit,  
effectivement égal au débit moyen du liquide, unique-  
ment pendant la durée de l'impulsion d'échantillonnage,  
même si le débit varie pendant une autre période que  
5 celle de l'impulsion d'échantillonnage.

Dans le débitmètre électromagnétique du  
premier mode de réalisation de l'invention, la période  
de passage du courant d'excitation est de très courte  
durée, de sorte que la consommation électrique est  
10 extrêmement faible et que l'on atteint ainsi l'objectif  
mentionné plus haut.

Puisque la polarité de la tension entre les  
électrodes 2a et 2b est inversée à chaque cycle, on ne  
peut pas craindre qu'une grande déviation du zéro soit  
15 produite par la réaction électrochimique. En outre,  
la mesure de variation du flux magnétique rémanent  
n'est faite que pendant la période qui est négligeable  
d'un point de vue pratique. Il est donc facile de  
contrôler le zéro absolu même si le liquide s'écoule.

20 L'influence d'une variation de la valeur  
de résistance du bobinage d'excitation, qui est due  
à une variation de température ambiante, sur la grandeur  
du flux magnétique rémanent, peut être réduite au mi-  
nimum en connectant en série le bobinage d'excitation  
25 à une résistance de compensation de température ayant  
un faible coefficient de température de résistance  
mais une valeur de résistance élevée. Cependant, à  
moins que l'on choisisse convenablement le matériau  
formant le circuit magnétique, le flux magnétique  
rémanent varie en fonction d'une variation de tempé-  
rature ambiante, même si un moyen est prévu pour  
rendre le courant d'excitation constant. Il en résulte  
une erreur de mesure du débit.

30 Un deuxième mode de réalisation du débitmètre  
de la présente invention est prévu pour éviter le défaut

- mentionné plus haut et qui concerne le débitmètre électromagnétique du type intermittent (c'est-à-dire de courte durée), à inversion et excitation. Dans cet exemple de réalisation, le circuit magnétique 5 comprend une carcasse faite dans un matériau de haute perméabilité (pour un flux magnétique rémanent faible), et un élément magnétique dont le matériau est celui d'un aimant permanent qui est assemblé en série avec la carcasse.
- 10 La figure 5 représente un schéma du deuxième mode de réalisation du débitmètre de l'invention, selon une vue en coupe transversale, orthogonale à la direction d'écoulement d'un liquide conducteur. Sur la figure, les mêmes références numériques sont utilisées 15 pour désigner des parties semblables ou équivalentes à celles du premier mode de réalisation de l'invention. Le tube 1 contenant le liquide, qui est non magnétique et non conducteur, s'étend sur une distance nécessairement grande dans la direction longitudinale de la section 20 transversale, à proximité de celle-ci. Deux électrodes 2a et 2b sont prévues pour intercaler directement au moins une partie du liquide qui s'écoule, en étant tournées vers l'intérieur du tube 1. Les électrodes 2a et 2b sont connectées, par des parties conductrices 25 qui traversent respectivement les parois du tube 1, de façon étanche, à l'unité de calcul de débit 3.

Des carcasses 4c et 4d comportant des pôles magnétiques 4a et 4b de chaque côté du tuyau 1 sont constituées par un matériau de haute perméabilité 30 pour un flux magnétique rémanent faible, tel que du fer doux ou de l'acier au silicium électromagnétique, en plaque. Le flux magnétique produit entre les pôles magnétiques 4a et 4b coupe une ligne droite joignant les deux électrodes 2a et 2b et la direction d'écoulement du liquide. Les culasses 4c et 4d maintiennent 35 entre elles un élément magnétique 8, par exemple,

fait d'alnico (alliage aluminium-nickel-cobalt) de moulage, dont la force coercitive n'est pas trop grande et pour lequel le flux magnétique augmente rapidement ainsi que la saturation magnétique ; les 5 carcasses 4c et 4d et l'élément magnétique 8 forment un seul circuit magnétique 4.

L'élément magnétique 8 est entouré d'un enroulement d'excitation 5 pour exciter le circuit magnétique 4, le diamètre de cet enroulement étant 10 grand et la résistance d'ensemble étant faible, comme dans le premier exemple de réalisation de l'invention. L'enroulement ou bobinage d'excitation 5 est connecté au générateur de courant d'excitation 6 qui est semblable à celui de la figure 3.

15 Pour ce deuxième exemple de réalisation de l'invention, on a représenté par une ligne continue sur la figure 6, la variation de la densité de flux magnétique en fonction du champ magnétique, quand le matériau d'aimant permanent constituant l'élément magnétique 8 est placé dans un champ magnétique qui varie de façon alternative sur une plage assez grande.

Dans le circuit magnétique 4 du deuxième exemple de réalisation de la figure 5, la perméabilité des carcasses 4c et 4d est 8000 à 12000 fois celle 25 d'un espace entre les pôles magnétiques 4a et 4b. Une force magnéto motrice produite dans cet espace par le courant passant dans le bobinage d'excitation 5, est donc pratiquement égale à celle produite entre les surfaces extrêmes de l'élément magnétique 8. 30 En conséquence, la relation qui existe entre le flux magnétique et le champ magnétique dû au flux magnétique est déterminée par une valeur qui est la conversion de la perméance Pg entre les pôles magnétiques 4a et 4b en un coefficient de perméance Pm de l'élément magnétique 8 obtenue en utilisant une relation 35

$P_m = Pg \times l_m / S_m$ , où  $l_m$  et  $S_m$  sont respectivement la longueur et la surface de section transversale de l'élément magnétique 8. La perméance entre les pôles magnétiques 4c et 4d est déterminée géométriquement et l'on détermine ainsi la relation qui existe entre 5 le flux magnétique et le champ magnétique dû à celui-ci, pour l'élément magnétique 8, qui est représenté par la ligne oblique P-P' de la figure 6.

Le courant passant dans le bobinage d'excitation 5 par le générateur de courant d'excitation 6, 10 produit une variation du champ magnétique H dans l'élément magnétique 8, et le fait baisser jusque dans l'intervalle +h à -h' de la figure 6 ; la courbe de variation du flux magnétique en fonction du champ magnétique H devient une ligne avec deux points en 15 chaîne Q-Q' de la figure 6. Quand le champ magnétique H baisse jusqu'en dehors de l'intervalle (+h, -h') mais en restant dans l'intervalle +H à -H', la variation du flux se fait le long de la courbe en traits interrompus R-P-R'-P'. Quand aucun courant d'excitation 20 ne passe dans le bobinage d'excitation 5, les points P et P' qui sont à l'intersection de la courbe R-P-R'-P' et de la ligne oblique P-P', sont stables et le flux magnétique rémanent en ces points a pour valeur B ou -B'. Si les deux courants d'excitation sont égaux 25  $B = B'$ .

Comme le montre la relation  $P_m = Pg \times l_m / S_m$ , la perméance  $P_m$  est plus grande quand la surface de section transversale  $S_m$  de l'élément magnétique 8 est plus petite, et la ligne oblique P-P' a une pente plus 30 grande et les valeurs absolues des densités de flux magnétique rémanent B et B' sont plus élevées.

Comme on l'a expliqué plus haut, à propos du deuxième exemple de réalisation de l'invention, le circuit magnétique 4 est réalisé en couplant les deux 35 carcasses 4c et 4d, constituées par un matériau de

perméabilité élevée pour un flux magnétique rémanent élevé, en série avec l'élément magnétique 8 d'aimant permanent. En conséquence, l'influence de la variation de température sur le flux magnétique rémanent est

5 déterminée uniquement par l'élément magnétique 8. Dans le cas d'un élément magnétique 8 fait dans un matériau d'aimant permanent, la variation de la densité de flux magnétique rémanent est très petite, par exemple - (0,06 à 0,02) %/°C. Une variation de flux magnétique

10 dans l'espace entre les pôles magnétiques 4a et 4b est donc petite. On supprime donc avec le deuxième exemple de réalisation de l'invention le défaut occasionné par le premier exemple de réalisation de l'invention, consistant en une erreur de mesure de débit de liquide,

15 due à un changement de température ambiante.

Dans l'exemple de réalisation de la figure 5 est prévu un circuit magnétique dans lequel est intercalé un simple aimant permanent mais ce circuit peut être modifié pour être constitué de deux circuits magnétiques dans chacun desquels est intercalé un aimant permanent correspondant : ces deux circuits magnétiques sont disposés symétriquement par rapport à un tube en position médiane, tout comme l'élément magnétique 8.

25 Les figures 7 et 8 représentent le deuxième mode de réalisation de l'invention modifié, respectivement selon une vue en coupe transversale et selon une vue en coupe longitudinale. L'espace entre les pôles magnétiques 4a et 4b est réduit en aplatisant partiellement la section transversale de la voie d'écoulement de liquide dans le tube 1, ce qui permet d'accroître la perméance du circuit magnétique 4. Deux éléments magnétiques 8a et 8b et deux bobinages d'excitation connectés en série sont prévus. La carcasse est

30 constituée par des parties 4c et 4d, situées entre les pôles magnétiques 4a et 4b et une extrémité des éléments

35

magnétiques 8a et 8b, et une partie 4e située entre les extrémités des éléments magnétiques 8a et 8b. Les parties 4c, 4d et 4e, de même que les fils conducteurs des bobinages d'excitation 5a et 5b et les électrodes

- 5 2a et 2b sont maintenus en place par un procédé de moulage quand le tube 1 est moulé dans une matière plastique non magnétique et isolante. Une simple unité de traitement 9 est prévue du côté supérieur du tube 1 ; cette unité comprend le générateur de
- 10 courant d'excitation 6, connecté aux bobinages d'excitation 5a et 5b, l'unité de calcul de débit 3 connectée aux électrodes 2a et 2b, une batterie et un oscillateur.

Le tube 1 est hermétiquement fixé aux deux extrémités, avec des vis, dans une pièce d'assemblage

- 15 métallique 10 et il est raccordé à la gaine isolante associée par la vis de la pièce d'assemblage 10. Le tube 1 a une résistance à la traction suffisante pour résister à une traction dans la direction longitudinale, quand il est mis en place.

- 20 Dans cet exemple de réalisation modifiée de l'invention, le circuit magnétique 4 peut être de faible dimension tout en conservant une densité de flux magnétique rémanent satisfaisante, grâce à une conception appropriée des éléments magnétiques
- 25 8a et 8b et des parties de carcasse 4c, 4d et 4e. Ainsi le coût est réduit.

- 30 Les premiers et deuxièmes modes de réalisation du débitmètre de l'invention sont applicables à un débitmètre électromagnétique dans lequel les électrodes 2a et 2b et les pôles magnétiques 4a et 4b sont placés symétriquement par rapport à la section transversale du tube 1, dans un plan horizontal mais asymétriquement dans un plan vertical. Cette disposition est représentée sur la figure 9, dans le plan de section
- 35 transversale, et sur la figure 10, dans le plan de section longitudinale.

Le premier mode de réalisation de l'invention des figures 1 et 3 et le deuxième mode de réalisation des figures 5, 7 et 8 ont pour inconvénient de présenter une valeur de crête du courant d'excitation (figure 4 5 (D)) et donc la valeur moyenne (figure 4 (I)) qui varie en fonction de la variation de la tension, indépendamment d'une valeur instantanée de vitesse d'écoulement de liquide, quand la source d'alimentation en courant continu de compensation n'est pas utilisée pour la 10 source d'alimentation Eo du générateur de courant d'excitation 6.

Un troisième mode de réalisation de l'invention qui sera décrit dans la suite, permet de supprimer l'inconvénient qui vient d'être mentionné pour le 15 débitmètre de type "à excitation intermittente, instantanée (de courte durée) et à inversion". Dans ce mode de réalisation, quand la valeur absolue du courant d'excitation dépasse une valeur fixe, elle est immédiatement ramenée à zéro, selon le procédé d'élevation instantanée du courant d'excitation. 20

Sur la figure 11 est représenté le troisième mode de réalisation du débitmètre de l'invention comprenant le circuit du générateur de courant d'excitation 6, l'unité de commande 7 et le bobinage d'excitation 5. 25

Dans le troisième mode de réalisation, le débitmètre de l'invention comporte également des électrodes et une unité de calcul de débit de liquide semblables à celles de la figure 3 et qui n'ont donc 30 pas été représentées sur la figure 11. Les signaux de sortie SP et SR' de l'unité de commande 7 de la figure 11 sont donc envoyés respectivement au circuit d'échantillonnage 32 et au redresseur synchrone 34 de la figure 3.

35 L'unité de commande 7 est constituée par un générateur d'impulsions comprenant l'oscillateur 72,

pour engendrer des impulsions à une fréquence prédéterminée, un diviseur 74 pour diviser la fréquence et une porte 76 ainsi qu'une première et une seconde bascules 78 et 80. Le signal SP servant à la commande du circuit d'échantillonnage 32 de l'unité de calcul 3 de la figure 3 et le signal SR' servant à la commande du redresseur 34 de la figure 3 sont engendrés par le diviseur 74, selon une relation de synchronisation prédéterminée entre eux conforme à la figure 4 ; ils sont transmis respectivement au circuit d'échantillonnage 32 et au redresseur 34 par la porte 76. Les première et seconde bascules 78 et 80 reçoivent alternativement un signal de mise à un, avec un retard fixe dans le diviseur 74 et la porte 76, grâce aux premier et second commutateurs  $S_{1a}$  et  $S_{1b}$ . Les bascules 78 et 80 reçoivent un signal de dépassement, d'un circuit de détection de valeur de dépassement de référence 6-2 qui est décrit dans la suite comme engendrant un signal de remise à zéro. Le premier ou le second commutateur  $S_{1a}$  ou  $S_{1b}$  reçoit donc un signal de la bascule correspondante, pour n'être fermé que pendant la période éoulée entre la réception du signal de mise à un et la réception du signal de remise à zéro.

Dans le générateur de courant d'excitation 6, une extrémité P du bobinage d'excitation 5 est branchée dans deux circuits. Les premier et second commutateurs  $S_{1a}$  et  $S_{1b}$  sont d'un type qui est normalement ouvert, et fermé pendant un court instant et sont reliés à la masse, par l'intermédiaire d'un premier et d'un second condensateurs Ca et Cb. Les points de connexion entre les premier et second commutateurs  $S_{1a}$  et  $S_{1b}$  et les condensateurs Ca et Cb sont respectivement reliés à la masse par l'intermédiaire d'une première et d'une seconde résistances de valeurs élevées Ra et Rb et d'une première et seconde sources d'alimentation.

tation en courant continu Eoa et Eob ; ces sources sont connectées entre elles par des bornes de polarités opposées sur les deux circuits de branchement du bobinage d'excitation 5 de la figure 11. Les commutateurs 5  $S_{1a}$  et  $S_{1b}$  sont commandés par les signaux provenant de la bascule de l'unité de commande 7, de manière à ce qu'ils soient alternativement fermés et de façon intermittente pendant un court intervalle de temps. Dans ce cas, les premier et second commutateurs 10 sont construits avec des composants électroniques courants. Pour renvoyer le courant de choc créé par le bobinage d'excitation 5, immédiatement après l'ouverture des premier et second commutateurs  $S_{1a}$  et  $S_{1b}$ , aux condensateurs  $C_b$  et  $C_a$ , des première et seconde 15 diodes  $D_a$  et  $D_b$  qui sont en parallèle avec les premier et second commutateurs  $S_{1a}$  et  $S_{1b}$  sont respectivement connectées aux bornes de polarités opposées des première et seconde sources d'alimentation en courant continu Eoa et Eob. L'autre extrémité Q du bobinage d'excitation 20 5 est connectée à la masse par l'intermédiaire d'une résistance  $R_s$ .

Avec cette connexion de circuits, le potentiel à l'autre extrémité Q du bobinage d'excitation 5 varie proportionnellement au courant d'excitation.

25 Dans l'exemple de réalisation de la figure 11, le potentiel au point Q est appliqué à un redresseur de valeur absolue  $AR_1$  qui le transforme en un potentiel positif qui est proportionnel à sa valeur absolue indépendamment de sa polarité. Le signal de sortie du 30 redresseur est envoyé à la borne d'entrée négative d'un comparateur CP. Une tension de référence fixe par rapport au potentiel de la masse est appliquée à la borne d'entrée positive du comparateur CP, à partir d'une source d'alimentation en tension de référence  $E_c$ . 35 Le comparateur CP engendre un signal de sortie quand le signal d'entrée à la borne d'entrée négative dépasse

celui à la borne d'entrée positive. Chaque fois que les bascules de l'unité de commande 7 reçoivent ce signal de sortie du comparateur CP, elles commandent l'ouverture immédiate de l'un des commutateurs  $S_{1a}$  et 5  $S_{1b}$  si celui-ci est fermé. Le circuit de détection de valeur de dépassement de référence 6-2 se compose du redresseur de valeur absolue  $AR_1$ , du comparateur CP et de la source d'alimentation en tension de référence  $E_C$  qui permettent de détecter une tension 10 de courant d'excitation dépassant la tension de référence.

Sur la figure 11, les première et seconde sources d'alimentation en courant continu  $E_{Oa}$  et  $E_{Ob}$ , dont un point de jonction est relié à la masse, 15 ainsi que les résistances  $R_a$  et  $R_b$  élevées peuvent être remplacées par une seule source d'alimentation en courant continu  $E$  et par une seule résistance  $R$  de valeur élevée, pour obtenir le même résultat qu'avec le circuit de la figure 11.

20 Avec une telle disposition, en raison principalement de l'inductance du bobinage d'excitation 5, la valeur absolue du courant d'excitation augmente à partir de zéro selon un processus donné ; elle diminue jusqu'à zéro selon un processus donné quand 25 l'un des premier et second commutateurs  $S_{1a}$  et  $S_{1b}$  est fermé ou ouvert, ainsi que l'indique la figure 12 qui représente les formes d'onde pour une échelle de temps agrandie. La valeur absolue du courant d'excitation à un instant où l'un des commutateurs  $S_{1a}$  30 et  $S_{1b}$  est ouvert à son maximum, est fixée à chaque cycle, par rapport à la tension fournie par la source d'alimentation en tension de référence  $E_C$ .

Le circuit de détection de valeur de dépassement de référence 6-2 de la figure 11 peut être 35 remplacé par la disposition de circuit représentée sur la figure 13. Sur la figure 13, une forme d'onde

- rectangulaire, produite par un circuit à déclenchement de Schmidt, a sa polarité inversée à chaque fois que le courant d'excitation dépasse une valeur constante déterminée par des résistances  $r_1$  et  $r_2$ . Cette forme d'onde est traitée par un circuit différentiel DIF
- 5 pour former une impulsions dont la polarité change chaque fois que sa polarité change. L'impulsion formée est traitée par le redresseur de valeur absolue  $AR_2$  pour produire un signal de sortie semblable à celui produit par le comparateur CP du circuit de la figure 11.
- 10 Le signal de sortie ainsi produit est transféré jusqu'aux bascules de l'unité de commande 7.

Avec le générateur de courant d'excitation 6 représenté sur la figure 11 ou avec celui de la figure 13 qui est une version modifiée du générateur 6

15 de la figure 11, la valeur maximale du courant d'excitation est invariable même si la tension de l'une des première et seconde sources  $E_{oa}$  et  $E_{ob}$  varie. Il en résulte que la diminution d'exactitude de mesure due à la variation de tension, peut être éliminée sans

20 utiliser une source d'alimentation en courant continu de compensation ; on supprime ainsi l'inconvénient mentionné plus haut.

## REVENDICATIONS

1. Débitmètre électromagnétique comprenant :  
un tube (1) constitué dans un matériau non-magnétique et non conducteur et dans lequel coule un liquide conducteur; deux électrodes (2a et 2b) qui sont placées sur  
5 des côtés opposés du tube, orthogonalement à la direction d'écoulement du liquide et en contact avec ce liquide; un circuit magnétique (4) pour introduire un flux magnétique dans la direction orthogonale à la direction d'écoulement du liquide et à une ligne droite joignant les  
10 deux électrodes; un bobinage d'excitation (5) pour produire le flux magnétique à introduire dans le circuit magnétique; un générateur de courant d'excitation (6) pour engendrer un courant d'excitation à envoyer au bobinage d'excitation; et une unité de calcul de débit de  
15 liquide (3) pour calculer la vitesse d'écoulement du liquide à partir de la tension produite entre les électrodes par le flux magnétique et l'écoulement du liquide; le débitmètre étant caractérisé en ce qu'il comprend en outre une unité de commande (7) pour commander le  
20 générateur de courant d'excitation (6) et l'unité de calcul de débit de liquide (3), de manière à ce que le générateur de courant d'excitation (6) produise le courant d'excitation de façon intermittente avec une polarité inversée alternativement et de courte durée et que  
25 l'unité de calcul de débit de liquide (3) calcule la vitesse d'écoulement du liquide, uniquement pendant une période de temps constante préterminée, à partir d'un point dans le temps où le flux rémanent dans le circuit magnétique (4), après la suppression du courant d'excitation, atteint son état stable, jusqu'à un point dans  
30 le temps où le courant d'excitation est déclenché.
2. Débitmètre électromagnétique selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite unité de commande (7) est conçue pour produire une impulsion d'échantillonnage (SP) pendant la période de temps où le flux

magnétique rémanent du circuit magnétique (4) est dans un état stable jusqu'à l'instant du déclenchement du courant d'excitation par le générateur de courant d'excitation (6), ladite unité de calcul de débit de liquide (3) comprenant un circuit d'échantillonnage (32) pour produire un signal de sortie échantillonné conformément à la tension produite entre les électrodes pendant la période de temps de l'impulsion d'échantillonnage (SP), ce signal de sortie échantillonné ayant la même polarité que ladite tension, le débitmètre électromagnétique comprenant en outre un redresseur synchrone (34) pour produire un signal de sortie intermittent de polarité constante, conformément au signal de sortie échantillonné, et un filtre (36) pour produire un signal de sortie intermittent et filtré, de sorte que le débit instantané du liquide est indiqué à partir du signal intermittent et filtré.

3. Débitmètre électromagnétique selon la revendication 1, caractérisé en ce que le générateur de courant d'excitation (6) comprend une première résistance fixe ( $r$ ) dont la valeur de résistance est assez élevée par rapport à celle du bobinage d'excitation (5), cette résistance étant connectée en série au bobinage d'excitation (5); un condensateur (C); un commutateur normalement ouvert ( $S_1$ ) et ayant une courte durée de fermeture, ce commutateur étant connecté au condensateur (C); un commutateur d'inversion de polarité ( $S_2$ ); les deux extrémités d'une connexion série du condensateur (C) et du commutateur normalement ouvert ( $S_1$ ) étant connectées aux deux extrémités d'une connexion série du bobinage d'excitation (5) et de la résistance ( $r$ ), par l'intermédiaire du commutateur d'inversion de polarité ( $S_2$ ); une source d'alimentation en courant continu de compensation ( $E_c$ ); et une seconde résistance fixe (R) de valeur de résistance élevée qui est connectée à la sour-

ce d'alimentation (Ec) en série, le condensateur (C) étant connecté en parallèle à une connexion série de la seconde résistance fixe (R) et de la source d'alimentation (Ec); l'unité de commande (7) commandant le commutateur normalement ouvert ( $S_1$ ) et le commutateur d'inversion de polarité ( $S_2$ ) selon des temps de synchronisation correspondants prédéterminés, de manière à ce qu'une polarité de connexion du commutateur d'inversion de polarité ( $S_2$ ) soit changée à un instant de synchronisation constant prédéterminé et que le commutateur normalement ouvert ( $S_1$ ) soit fermé pendant un court intervalle de temps, à un instant de synchronisation intermédiaire de l'instant de synchronisation constant prédéterminé.

4. Débitmètre électromagnétique selon la revendication 1, caractérisé en ce que le générateur de courant d'excitation (6) est constitué par une première connexion série d'un premier commutateur normalement ouvert ( $S_{1a}$ ) ayant un court intervalle de temps de fermeture et d'un premier condensateur Ca; une seconde connexion série d'un second commutateur normalement ouvert  $S_{1b}$  ayant un court intervalle de temps de fermeture et d'un second condensateur Cb, les première et seconde connexions série étant connectées en parallèle aux deux extrémités du bobinage d'excitation (5); des connexions série de sources d'alimentation en courant continu E, Ea, Eb et de résistances R, Ra, Rb étant connectées respectivement au premier et second condensateurs Ca et Cb ou en commun, de manière à ce que les premier et second condensateurs Ca et Cb soient chargés avec des polarités opposées, pour obtenir des courants opposés dans le bobinage d'excitation (5) quand les premier et second commutateurs normalement ouverts  $S_{1a}$  et  $S_{1b}$  sont sélectivement fermés; une première diode Da étant connectée en parallèle au premier commutateur normalement ouvert  $S_{1a}$  et avec une polarité inverse par

rapport au potentiel du premier condensateur Ca; une seconde diode Db étant connectée en parallèle au second commutateur normalement ouvert  $S_{1b}$  et avec une polarité inverse par rapport au potentiel du second condensateur Cb; ladite unité de commande 7 commandant les premier et second commutateurs normalement ouverts  $S_{1a}$  et  $S_{1b}$ , de façon qu'ils soient alternativement fermés pendant un court intervalle de temps à un temps de synchronisation constant prédéterminé.

5. Débitmètre électromagnétique selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un circuit de détection de valeur de dépassement de référence (6-2) pour produire un signal de dépassement en détectant si le potentiel d'une extrémité d'une résistance (Rs), qui est proportionnel au courant d'excitation, dépasse une valeur de référence prédéterminée, la résistance (Rs) étant connectée en série dans un circuit dans lequel le courant d'excitation passe, l'autre extrémité de la résistance (Rs) étant connectée à une borne de potentiel nul, ladite unité de commande (7) étant conçue pour couper immédiatement le courant d'excitation du générateur de courant d'excitation (6) à la réception du signal de dépassement.

6. Débitmètre électromagnétique selon l'une quelconque des revendications 4 et 5, caractérisé en ce que l'unité de commande (7) comprend une première et une seconde bascules (78, 80) pour commander respectivement la fermeture des premier et second commutateurs normalement ouverts ( $S_{1a}$  et  $S_{1b}$ ), pendant un court intervalle de temps, à partir de la réception d'un signal de mise à un jusqu'à la réception d'un signal de remise à zéro; un circuit générateur d'impulsions étant prévu pour produire le signal de mise à un de façon alternative à un instant de synchronisation pré-déterminé; les première et seconde bascules (78, 80)

étant connectées au circuit de détection de valeur de dépassement de référence (6-2) pour recevoir de celui-ci le signal de dépassement comme étant le signal de remise à zéro.

7. Débitmètre électromagnétique selon la revendication 5, caractérisé en ce que le circuit de détection de valeur de dépassement de référence (6-2) prend un redresseur de valeur absolue ( $AR_1$ ) pour produire un potentiel positif proportionnel à une valeur absolue conformément au potentiel d'une extrémité de la résistance ( $Rs$ ) mais indépendamment de la polarité de ce potentiel; et un comparateur ( $Cp$ ) ayant une borne d'entrée négative connectée à la sortie du redresseur de valeur absolue ( $AR_1$ ) et une borne d'entrée positive connectée à une source d'alimentation en tension de référence constante ( $Ec$ ), la sortie du comparateur ( $Cp$ ) étant reliée à l'unité de commande (7) pour lui transmettre le signal de dépassement.

8. Débitmètre électromagnétique selon la revendication 5, caractérisé en ce que le circuit de détection de valeur de dépassement de référence (6-2) prend un circuit de déclenchement de Schmidt ( $S_{ch}$ ) dont une borne d'entrée est portée au potentiel d'une extrémité de la résistance ( $Rs$ ), ce circuit produisant une forme d'onde rectangulaire d'inversion de polarité quand le potentiel dépasse une valeur prédéterminée; un circuit différentiel (DIF) dont une borne d'entrée reçoit le signal de sortie du circuit de déclenchement de Schmidt ( $S_{ch}$ ) et qui produit des impulsions dont la polarité change alternativement à chaque fois que la polarité de sortie du circuit de déclenchement de Schmidt ( $S_{ch}$ ) change; et un redresseur de valeur absolue ( $AR_2$ ) pour produire des signaux de polarité constante en traitant le signal de sortie du circuit différentiel (DIF), le signal de sortie du redresseur de valeur absolue ( $AR_2$ ) étant envoyé à l'unité de commande (7); ce signal étant le signal de dépassement.

9. Débitmètre électromagnétique selon la revendication 1, caractérisé en ce que le circuit magnétique (4) est une carcasse constituée dans un matériau de perméabilité élevée pour une force coercitive comparativement élevée.

5           10. Débitmètre électromagnétique selon la revendication 1, caractérisé en ce que le circuit magnétique (4) est constitué par un assemblage série d'une carcasse (4e) constituée dans un matériau de perméabilité élevée, pour un flux magnétique rémanent faible et d'un élément magnétique (8) constitué dans un matériau d'aimant permanent.

10          15. Débitmètre électromagnétique selon la revendication 1, caractérisé en ce que la section transversale du tube (1) est rectangulaire au moins au voisinage des électrodes (2a et 2b).

15          20. Débitmètre électromagnétique selon la revendication 1, caractérisé en ce que la section transversale du tube (1) est effectivement circulaire au moins au voisinage des électrodes (2a et 2b).

20          25. Débitmètre électromagnétique selon la revendication 5, caractérisé en ce que le tube (1) est constitué dans une matière synthétique résineuse, le tube étant partiellement aplati au moins au voisinage de l'emplacement des électrodes (2a, 2b), les électrodes, l'élément magnétique (8) et les pôles magnétiques (4a, 4b) formant le circuit magnétique (4), le bobinage d'excitation (5) étant moulé avec ladite matière synthétique résineuse.

30          30. Débitmètre électromagnétique selon la revendication 1, caractérisé en ce que le circuit magnétique (4) et le bobinage d'excitation (5) ont une disposition symétrique par rapport à une ligne droite joignant les deux électrodes (2a, 2b).

35          35. Débitmètre électromagnétique selon la re-

vendication 10, caractérisé en ce que la culasse (4e),  
l'élément magnétique (8) et le bobinage d'excitation  
(5) ont une disposition symétrique par rapport à un  
bissecteur d'une ligne droite reliant les électrodes  
5 (2a et 2b) et qui passe par le centre du tube (1).

1 / 6

FIG. 1

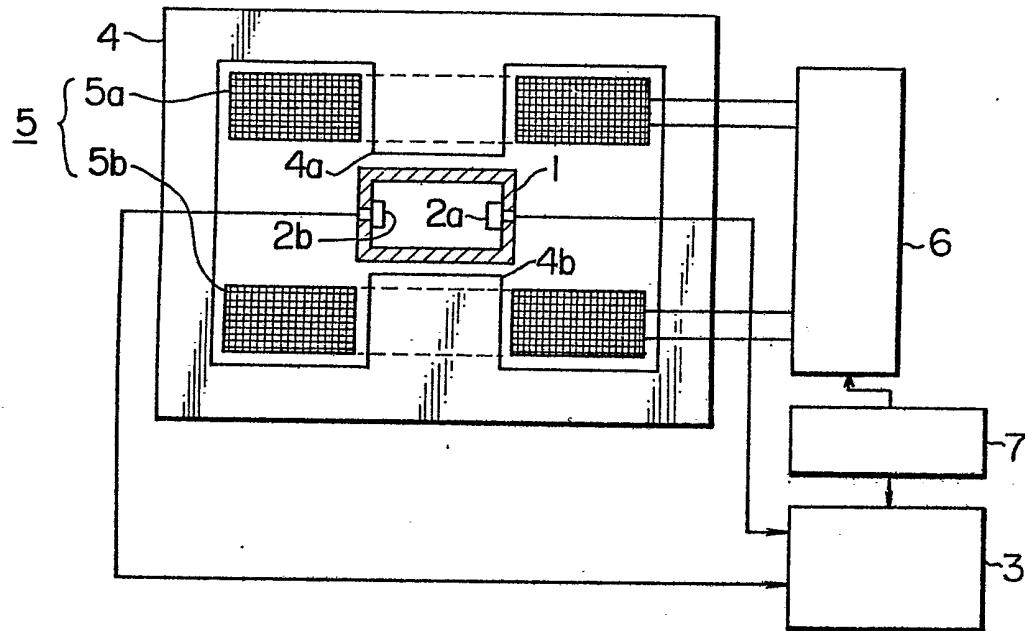
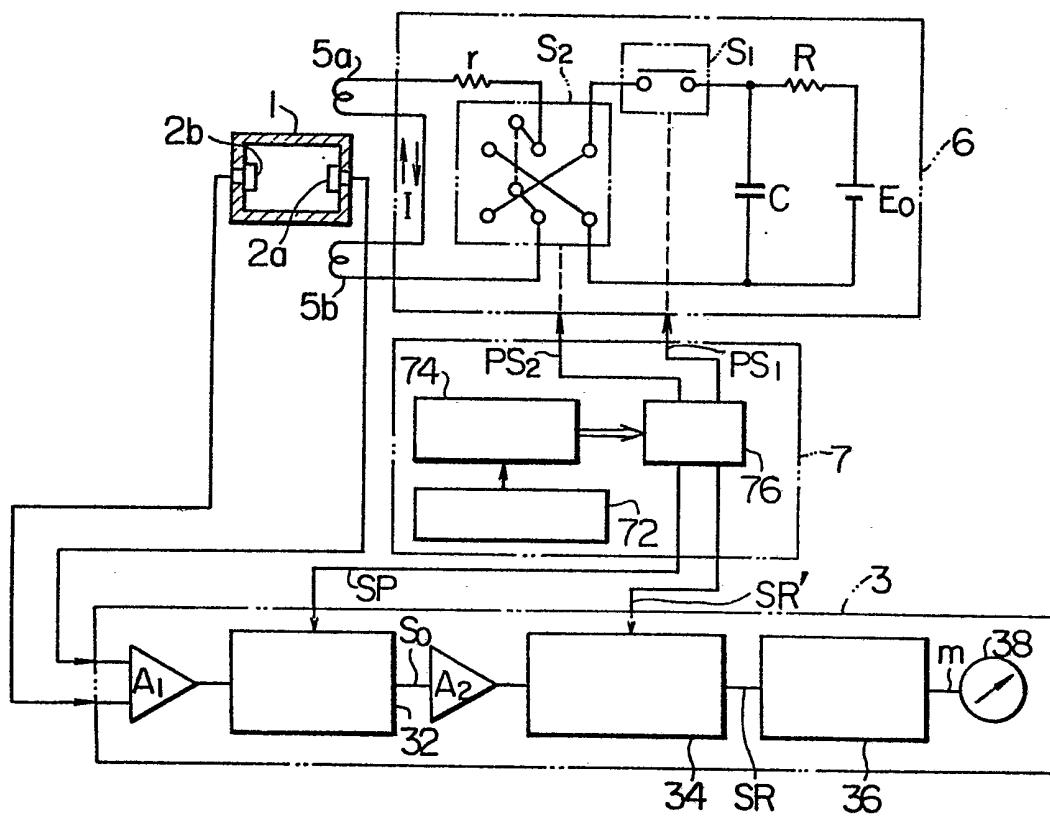


FIG. 3



2 / 6

FIG. 5

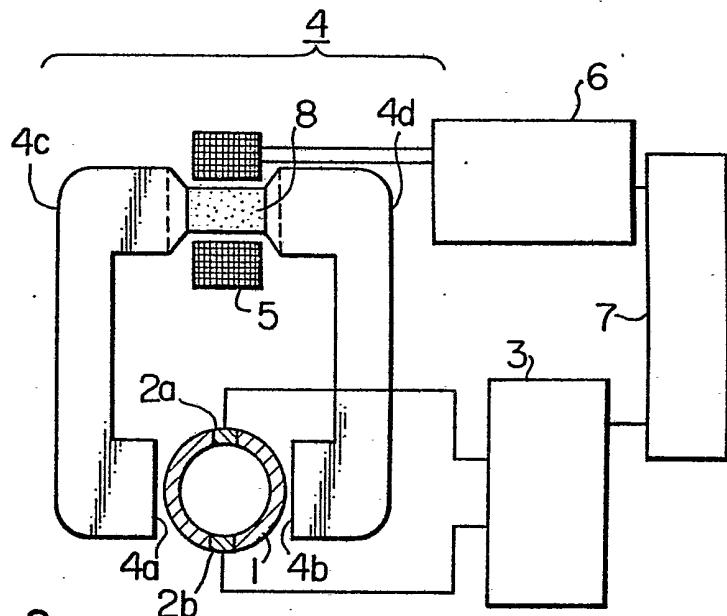


FIG. 2

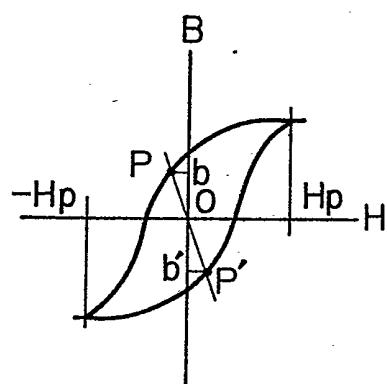
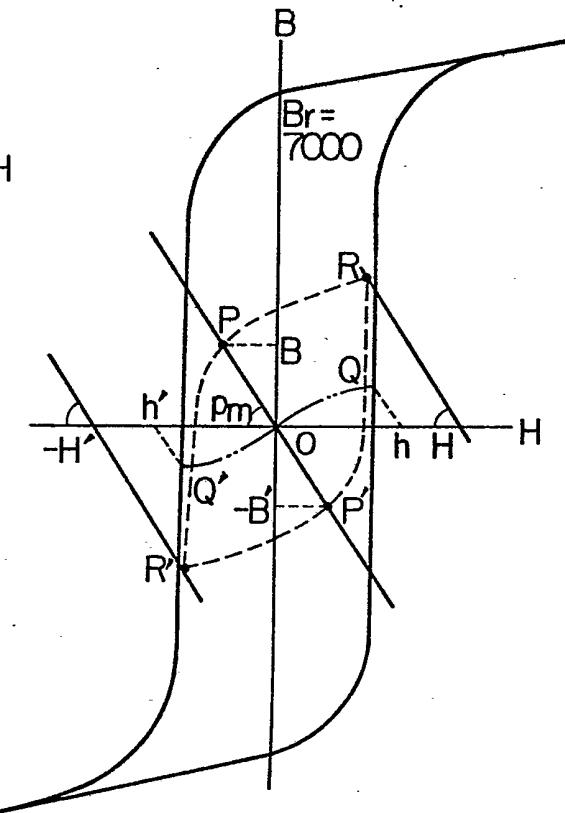
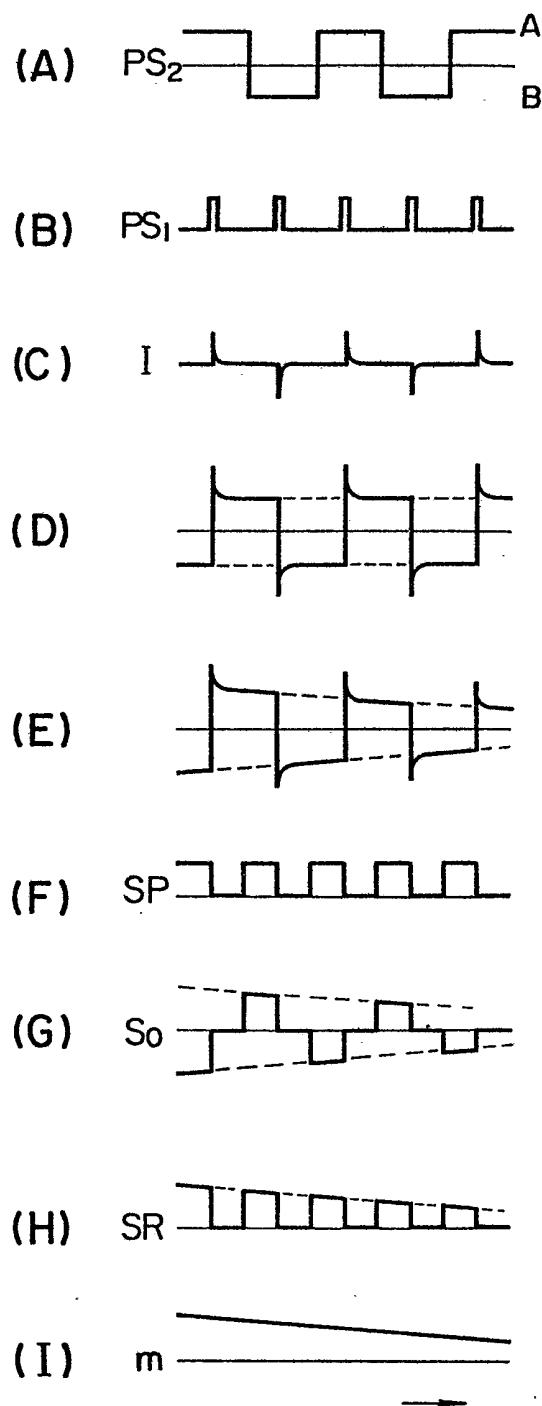


FIG. 6



3 / 6

FIG. 4



4 / 6

FIG. 7

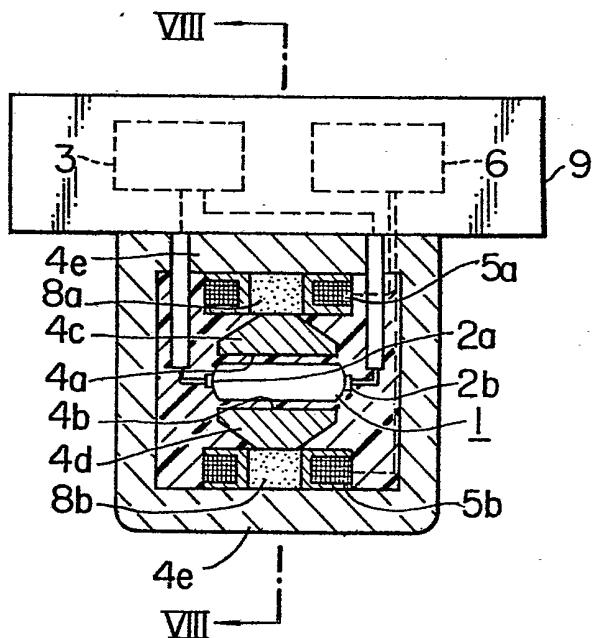
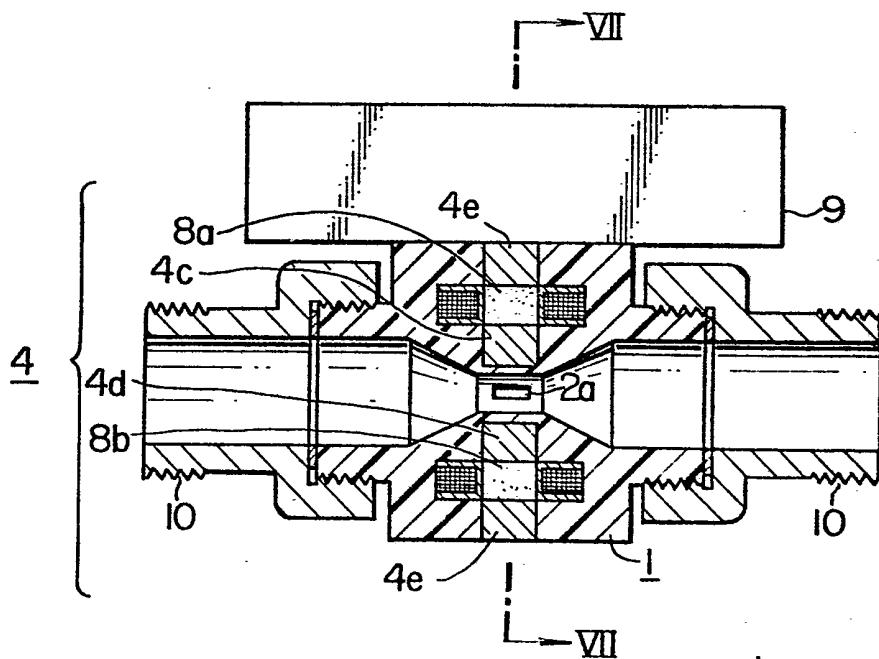


FIG. 8



5 / 6

FIG. 9

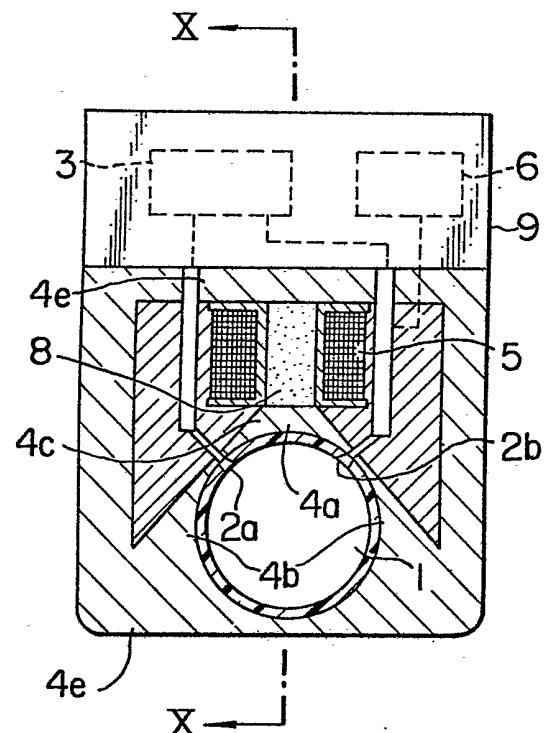
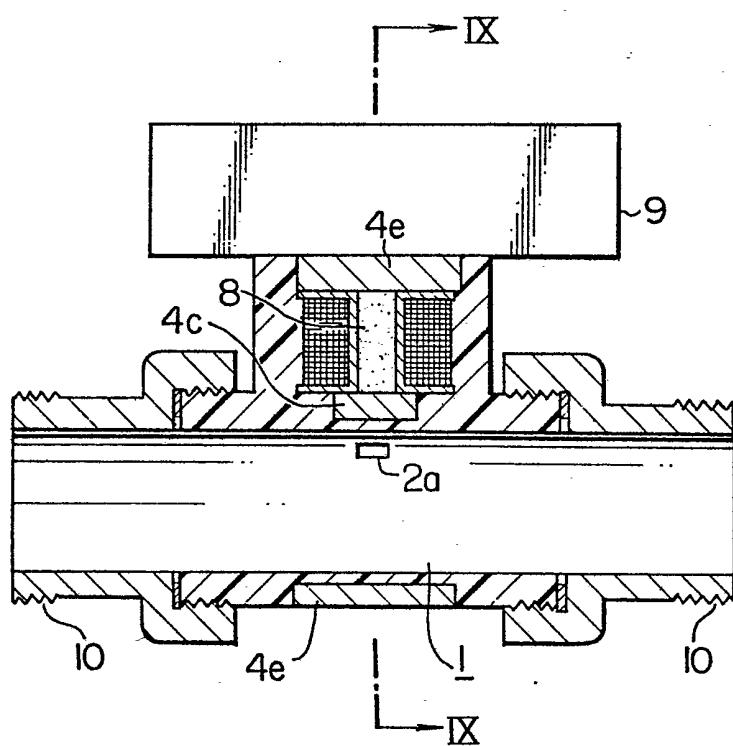


FIG. 10



6 / 6

FIG. II

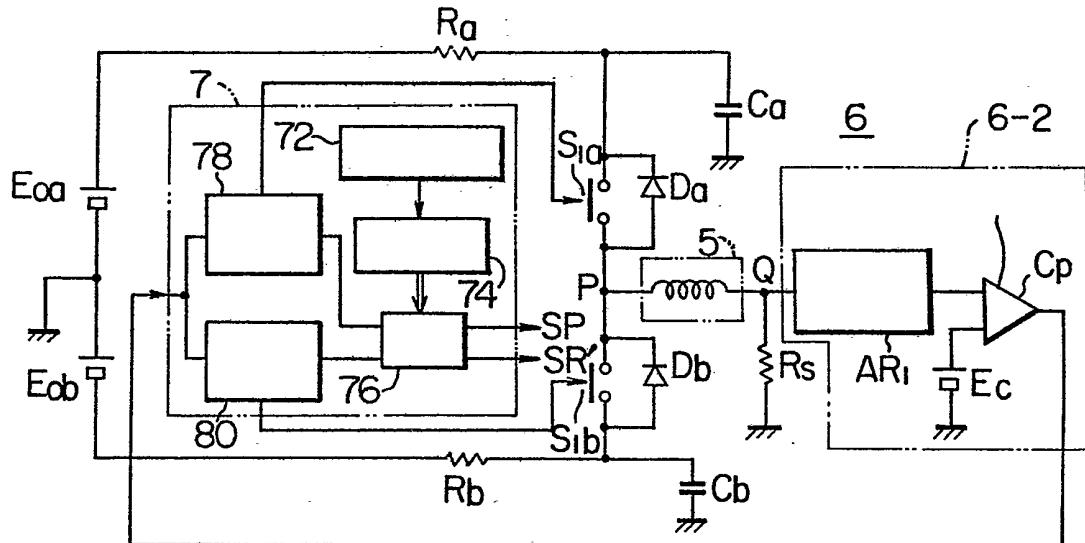


FIG. 12

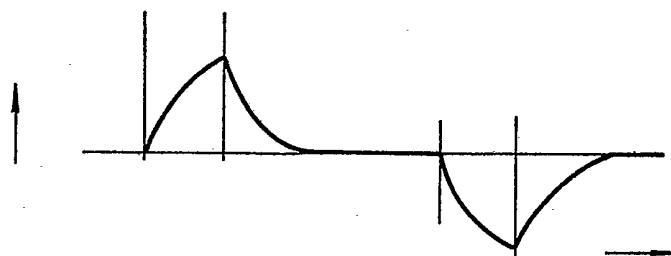


FIG. 13

