



⑫ **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

④⑤ Date de publication du fascicule du brevet :
21.06.95 Bulletin 95/25

⑤① Int. Cl.⁶ : **H01P 1/208, H01P 7/10**

②① Numéro de dépôt : **91102262.2**

②② Date de dépôt : **18.02.91**

⑤④ **Filtre agile hyperfréquence.**

③⑩ Priorité : **23.02.90 FR 9002280**

④③ Date de publication de la demande :
28.08.91 Bulletin 91/35

④⑤ Mention de la délivrance du brevet :
21.06.95 Bulletin 95/25

⑧④ Etats contractants désignés :
CH DE ES FR GB IT LI NL SE

⑤⑥ Documents cités :
FR-A- 2 521 786
GB-A- 1 340 162
US-A- 3 001 154
US-A- 3 919 673
PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 11, no. 70 (E-485)(2517) 03 mars 1987, & JP-A-61 225903 (FIJITSU LTD) 07 Octobre 1986, IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES. vol. 29, no. 8, août 1981, NEW YORK US pages 754 - 770; J.K.PLOURDE et al.: "Application of dielectric resonators in microwave components"

⑦③ Titulaire : **ALCATEL TELSPACE**
5, rue Noel Pons
F-92734 Nanterre Cédex (FR)

⑧④ **DE ES FR GB IT NL SE**
Titulaire : **ALCATEL N.V.**
Strawinskylaan 341,
(World Trade Center)
NL-1077 XX Amsterdam (NL)
⑧④ **CH LI**

⑦② Inventeur : **Brouzes, Carol**
282, avenue d'Argenteuil
F-92600 Asnières (FR)
Inventeur : **Ressencourt, Claude**
58, rue Aristide Briand
F-27400 Acquigny (FR)
Inventeur : **de Place, Alain**
115, boulevard Haussmann
F-75008 Paris (FR)

⑦④ Mandataire : **Weinmiller, Jürgen et al**
Lennéstrasse 9
Postfach 24
D-82336 Feldafing (DE)

EP 0 443 481 B1

Il est rappelé que : Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

La présente invention se rapporte à un filtre agile hyperfréquence, et en particulier à un filtre de ce type apte à être utilisé, aussi bien à l'émission qu'à la réception, pour la réalisation de faisceaux hertziens agiles en fréquence.

Un filtre agile est un filtre dont la fréquence centrale peut être volontairement déplacée, dans une gamme de fréquences pouvant couvrir une fraction importante d'une octave, au moyen d'une commande électrique ou électronique. De tels filtres sont, avec les synthétiseurs de fréquence, les éléments indispensables à la réalisation des faisceaux hertziens agiles, qui sont en particulier très utilisés dans les applications où l'on désire pouvoir changer très rapidement la fréquence d'émission d'un signal.

Ces filtres agiles doivent non seulement pouvoir changer très rapidement de fréquence centrale, mais encore supporter des niveaux de puissance variables :

- . employés à l'émission, ils fonctionnent sous forte puissance (en sortie des amplificateurs d'émission) et ont pour rôle d'éviter à l'émetteur de polluer les canaux voisins ;
- . employés à la réception comme filtres de canal, ils permettent au récepteur de n'amplifier que le signal utile, à l'exclusion de la pollution introduite par les émissions adjacentes ; bien que fonctionnant alors en principe sous faible puissance, ils doivent néanmoins ne pas pouvoir être détériorés ou détruits par ces émissions adjacentes, qui peuvent leur appliquer des signaux perturbateurs de puissance très supérieure à celle des signaux normalement reçus.

De nombreux types de filtres agiles hyperfréquence ont été jusqu'à présent soit utilisés, soit décrits dans la littérature.

Le filtre agile le plus classique est le filtre à cavités résonnantes dont l'accord est réalisé mécaniquement sous commande d'un moteur. Ce type de filtre peut supporter des puissances élevées, mais il ne peut plus convenir dans les applications actuelles car son temps de manoeuvre pour réaliser un changement de fréquence est extrêmement élevé, de l'ordre de la minute pour fixer les idées, alors que certaines applications projetées exigeront un temps de commutation de canal très inférieur à la seconde, et plus spécifiquement plutôt de l'ordre de la milliseconde. En outre, ils ont pour autres inconvénients d'être encombrants, plutôt lourds, et particulièrement onéreux et complexes à réaliser en raison des impératifs mécaniques délicats et précis qui sont à mettre en oeuvre.

L'accord de la cavité résonnante peut aussi être apporté par l'utilisation de diodes à capacité variable, ou "varactors", qui réagissent en un temps très bref, typiquement de l'ordre de la microseconde. De tels fil-

tres ne sont malheureusement pas envisageables, pour les faisceaux hertziens, en raison de leur puissance acceptable qui est beaucoup trop faible (inférieure à 0 dBm), ainsi que leur fréquence de fonctionnement qui est, avec les composants connus actuellement, limitée à des fréquences inférieures à 2 Gigahertz.

Cet accord peut aussi être obtenu de manière rapide par l'action d'un champ magnétique polarisant un résonateur à billes YIG (Yttrium Iron Garnet). La tenue en puissance d'un tel résonateur reste cependant beaucoup trop faible, environ du même ordre de grandeur de celle des filtres à varactors précités.

Le document FR-A-2.521.786 décrit, en se référant au document FR-A-2.509.537, un filtre passe-bande à résonateurs diélectriques placés dans un guide d'ondes dont les dimensions de la section transversale sont de l'ordre de 2,5 fois les dimensions transversales de ces résonateurs. Une pastille de grenat de fer Yttrium est placée sur chacun de ces résonateurs diélectriques afin, sous l'action de champs magnétiques extérieurs réglables, de rendre ce filtre accordable magnétiquement. L'entrefer des circuits magnétiques nécessaires à la création de ces champs magnétiques est alors très large, de sorte que le nombre d'ampères tours, et donc la consommation de courant nécessaire, sont très élevés pour obtenir une gamme de variation satisfaisante. Par ailleurs, la réalisation de tels résonateurs composites est assez onéreuse, en raison justement de ce caractère composite.

Dans le document US-A-3 919 673 il est décrit un filtre à absorption non-réciproque à ferrite dont les pertes d'absorption dépendent de la direction de propagation dans le guide. Un champ magnétique externe est appliqué à l'aide d'un aimant permanent pour obtenir l'effet dissymétrique, selon lequel l'élément gyromagnétique agit comme un résonateur diélectrique pour absorber l'énergie électromagnétique dans une première direction de propagation et dans une bande étroite de fréquences dont la fréquence centrale est déterminée par les dimensions de l'élément gyromagnétique. Dans la direction de propagation opposée, l'élément gyromagnétique ne se comporte pas comme un résonateur diélectrique et il n'y a pratiquement pas d'absorption. Il est à noter que le dispositif décrit dans ce document n'est pas accordable en fréquence.

Le document US-A-3 001 154 décrit un filtre passe-bande symétrique à ferrite, dont la fréquence centrale peut être accordée par l'application de champs magnétiques externes. Selon l'enseignement de ce document, un barreau de ferrite est disposé axialement dans un guide d'ondes qui véhicule de l'énergie électromagnétique dans un mode de propagation. Pour augmenter la fréquence d'accord du filtre, il suffit d'appliquer un champ magnétique axial à ce barreau de ferrite ; ce champ peut être généré par

une bobine autour dudit guide, dans laquelle on fait passer un courant électrique. Pour diminuer la fréquence d'accord du filtre, il suffit d'appliquer un champ magnétique transversal à ce barreau de ferrite ; ce champ peut être généré par un électroaimant dont l'entrefer est disposé autour du guide et perpendiculaire à l'axe du barreau.

Du fait que l'entrefer aura des dimensions relativement importantes, le courant nécessaire pour obtenir une plage d'accord donnée est aussi relativement important. D'autre part, le système selon ce document est encombrant et compliqué du fait qu'il faut deux champs orthogonaux, avec deux systèmes d'électroaimants et leurs alimentations séparées.

Pour avoir une bonne idée de l'arrière plan technologique de la présente invention, le lecteur pourra consulter l'article paru dans IEEE Transactions on microwave theory and techniques, vol. MTT-29 (1981) Aug., no.8, pp. 754-770, par. M.K. PLOURDE et al., intitulé "Application of dielectric resonators in microwave components". Cet article rassemble les éléments théoriques de base, ainsi que différentes techniques classiques de construction de filtres à résonateur diélectrique.

Enfin, le document FR-A-2.610.766 de la Demanderesse décrit un résonateur de puissance constitué au moins partiellement de ferrite polycristalline, et dont l'accord est changé très rapidement par l'application d'un champ magnétique extérieur réglable. La technique présentée dans ce document est basée sur l'emploi d'une ligne coaxiale résonnante réalisée à partir d'un barreau cylindrique de ferrite polycristallin métallisé. Ce résonateur à ferrite est placé dans un dispositif apte à créer un champ magnétique variable. Ce dernier fait alors varier la perméabilité magnétique du matériau ferrite de façon à modifier la longueur électrique de la ligne coaxiale, en faisant par là même varier la fréquence de ce résonateur.

Cette dernière technique ne permet toutefois pas d'obtenir les forts coefficients de surtension à vide qui sont indispensables à la réalisation des filtres hyperfréquences à bande très étroite nécessaires aux faisceaux hertziens actuels. En effet, la surtension à vide de la structure décrite dans ce document FR-A-2.610.766 est limitée par le confinement métallique des champs électromagnétiques hyperfréquences de la cavité coaxiale, d'autant plus sensible que la permittivité diélectrique du matériau réduit les dimensions de la cavité résonnante par rapport à son homologue remplie d'air, ainsi que par l'apparition de modes parasites perturbateurs qui seraient conséquents à un éventuel agrandissement de la structure, effectué pour augmenter cette surtension à vide.

L'invention vise à remédier à ces divers inconvénients. Elle se rapporte à cet effet à un filtre agile hyperfréquence dont la structure est semblable à celle des filtres à résonateur (s) diélectrique(s) placé(s) par exemple dans un guide d'ondes fonctionnant

sous la coupure, mais pour lequel le ou les résonateurs à confinement diélectrique sont remplacés par des résonateurs semblables, mais réalisés en matériau ferrite et non pas en matériau purement diélectrique, des moyens étant par ailleurs prévus pour appliquer à ce ou ces résonateurs en ferrite un champ magnétique d'intensité réglable, de manière à déplacer ainsi la fréquence centrale du filtre.

Plus précisément, la présente invention a pour objet un filtre agile hyperfréquence comportant au moins un résonateur (1, 15, 16) à confinement diélectrique ainsi que des moyens (11, 11A, 11B, 17) pour appliquer des champs magnétiques (H1, H2, H3) d'intensité réglable, **caractérisé en ce que** ledit résonateur (1, 15, 16) à confinement diélectrique est constitué en matériau ferrite et disposé sur le fond d'un guide d'ondes fonctionnant en mode évanescent, dans le but d'obtenir un déplacement de la fréquence centrale de ce filtre en réglant l'intensité desdits champs magnétiques.

Selon une variante de l'invention, le filtre agile hyperfréquence comprend en outre une mince pastille diélectrique (14), et ledit résonateur (1, 15, 16) à confinement diélectrique constitué en matériau ferrite est posé sur ladite mince pastille diélectrique qui est elle-même posée sur ledit fond dudit guide d'ondes.

De toute façon, l'invention sera bien comprise, et ses avantages et autres caractéristiques ressortiront, lors de la description suivante de trois exemples non limitatifs de réalisation, en référence au dessin schématique annexé dans lequel :

- Figure 1 montre un premier exemple de réalisation de ce filtre agile ;
- Figure 2 est une variante du filtre de la figure 1 ;
- Figure 3 est un exemple de réalisation de filtre passe-bande comprenant plusieurs éléments résonnants.

En se référant à la figure 1, ce filtre agile hyperfréquence est composé d'un cylindre de ferrite 1, de diamètre D et de hauteur h qui, à l'instar des filtres à résonateur(s) diélectrique(s) de l'art connu, est placé sur le fond d'une portion 2 de guide à section rectangulaire et fonctionnant en mode évanescent, c'est à dire sous la coupure.

Plus précisément, le barreau de ferrite 1 fonctionne en mode TM_{018} , tandis que le guide à mode évanescent 2 est excité selon le mode TM_{11} par une antenne coaxiale 3 placée en entrée du filtre et traversant classiquement une première plaque métallique d'extrémité 4. Le signal hyperfréquence d'entrée est véhiculé jusqu'à cette antenne 3 par le câble coaxial d'amenée du signal 5.

De façon totalement symétrique, le signal de sortie du filtre est prélevé à l'autre extrémité du guide 2 par l'antenne coaxiale 6 qui traverse de même la seconde plaque métallique d'extrémité 7, cette antenne

6 prolongeant classiquement l'âme du câble coaxial de sortie 8 (de la même façon que l'antenne 3 prolonge, quant à elle, l'âme du câble coaxial d'entrée 5).

Le barreau de ferrite 1 a la propriété, actuellement plutôt méconnue à tort, d'avoir non seulement une forte perméabilité magnétique, mais encore une permittivité diélectrique plutôt élevée, sa permittivité relative étant de l'ordre de 15, alors que celle des matériaux résonateurs diélectriques classiques est de l'ordre de 40. Il en résulte que, contrairement à ce que l'on pourrait penser à priori, le barreau 1 réalise ici, sans qu'il soit, comme celui du document FR-A-2.610.766, blindé par deux couches métalliques concentriques, un confinement diélectrique lui conférant une fonction de résonateur.

En réalité cependant, la fréquence de résonance du barreau de ferrite 1 dépend du produit de sa permittivité diélectrique par sa perméabilité magnétique, de sorte qu'en fait, il va être possible de faire varier la fréquence de résonance du barreau 1, et donc la fréquence centrale d'accord du filtre de la figure 1 en faisant varier cette perméabilité magnétique ce qui, pour du matériau ferrite, est possible en lui appliquant un champ magnétique polarisant d'intensité réglable, à l'instar de ce qui est décrit dans le document FR-A-2.610.766 précité.

Dans ce but, le barreau de ferrite 1 est en outre placé dans un champ magnétique H qui est créé, coaxialement au barreau 1, entre les deux pièces polaires 9, 10 d'un électro-aimant 11 comportant un circuit magnétique en fer doux 12 et une bobine d'excitation 13 parcourue par un courant continu de valeur réglable : en faisant varier le courant d'excitation de la bobine 13, on fait varier la valeur du champ H, et par suite la fréquence de résonance du barreau 1, ce qui déplace la fréquence centrale du filtre.

A noter que la propriété de conduction magnétique du barreau 1, combinée avec sa hauteur h non négligeable, entraîne pour le circuit magnétique 12, un entrefer assez restreint, ce qui permet de faire varier ce champ H, et donc de déplacer la fréquence centrale du filtre dans de bonnes proportions sans nécessiter, pour les bobinages 13, une consommation de courant excessive.

A titre d'exemple, il a été utilisé pour la réalisation d'un tel filtre agile hyperfréquence, un matériau ferrite polycristallin de type grenat dont la largeur de raie effective est très faible, afin d'avoir un coefficient de surtension important (supérieur à 2000).

Les dimensions du cylindre résonnant 1 étaient les suivantes :

. diamètre D : 5,8 mm

. hauteur h : 4,2 mm

avec les dimensions internes suivantes pour le guide rectangulaire 2 à mode évanescent :

. petit côté : 4,9 mm

. grand côté : 10,7 mm

Au lieu de poser le cylindre de ferrite 1 sur le fond

du guide 2, il est aussi possible de le poser, comme le montre la figure 2, sur une mince pastille 14 de matériau diélectrique à faible permittivité, elle-même posée sur le fond du guide 2, ce qui permet, dans certains cas, d'éviter des perturbations.

En jouant sur l'excitation des bobinages 13, la fréquence centrale du filtre hyperfréquence selon les figures 1 ou 2 a pu être déplacée continûment entre 14,450 Gigahertz et 15,447 Gigahertz sans consommation excessive de courant dans ces bobinages.

Enfin, la figure 3 montre la réalisation d'un filtre agile passe-bande formé par l'association, dans un même guide 2, de deux résonateurs ferrite 15 et 16 fonctionnant eux-aussi en résonateurs à confinement diélectrique, ce filtre étant basiquement semblable aux filtres de bande classiques à résonateurs diélectriques (voir par exemple la figure 1 du document FR-A-2.590.537 précité) à cette différence près que les résonateurs couplés 15, 16 sont constitués en ferrite et qu'en outre ils sont soumis, à l'instar du résonateur 1 selon les figures 1 et 2, aux champs magnétiques réglables respectifs H_1 et H_2 créés par les électro-aimants 11_A et 11_B .

Comme indiqué schématiquement au dessin, les bobinages 13_A et 13_B de ces électro-aimants 11_A et 11_B sont alimentés chacun en courant d'excitation réglable par une unité d'alimentation et de commande 17.

Comme il va de soi, l'invention n'est pas limitée aux exemples de réalisation qui viennent d'être décrits. C'est ainsi par exemple que les dimensions relatives des résonateurs et du guide pourraient être autres. D'autres modes de couplage d'entrée et de sortie, par exemple réalisés à l'aide d'iris, pourraient être utilisés, auquel cas le guide utilisé pourrait ne pas fonctionner en mode évanescent, etc... Bien entendu, les circuits magnétiques des électroaimants pourront, sans sortir du cadre de l'invention, comporter des aimants permanents contribuant à la création du champ magnétique.

Revendications

1. Filtre agile hyperfréquence comportant au moins un résonateur (1, 15, 16) à confinement diélectrique disposé sur le fond d'un guide d'ondes fonctionnant en mode évanescent ainsi que des moyens (11, 11_A , 11_B , 17) pour appliquer des champs magnétiques (H_1 , H_2 , H_3) d'intensité réglable, **caractérisé en ce que** ledit résonateur (1, 15, 16) à confinement diélectrique est constitué en matériau ferrite dans le but d'obtenir un déplacement de la fréquence centrale de ce filtre en réglant l'intensité desdits champs magnétiques.
2. Filtre agile selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'il** comprend en outre une mince pastille

diélectrique (14), et en ce que ledit résonateur (1, 15, 16) à confinement diélectrique constitué en matériau ferrite est posé sur ladite mince pastille diélectrique qui est elle-même posée sur ledit fond dudit guide d'ondes .

5

3. Filtre agile hyperfréquence selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce que le résonateur en ferrite (1, 15, 16) est posé sur le fond du guide d'ondes (2).

10

4. Filtre agile hyperfréquence selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce que le résonateur en ferrite (1) est posé sur une mince pastille diélectrique (14), elle-même posée sur le fond du guide d'ondes (2).

15

Patentansprüche

20

1. Justierbares Mikrowellenfilter, das mindestens einen Resonator (1, 15, 16) mit dielektrischer Einschließung enthält, der am Grund eines im abklingenden Modus betriebenen Wellenleiters liegt, sowie Mittel (11, 11A, 11B, 17) aufweist, um magnetische Felder (H1, H2, H3) justierbarer Stärke anlegen zu können, dadurch gekennzeichnet, daß der Resonator (1, 15, 16) mit dielektrischer Einschließung aus Ferritmaterial gebildet wird, um eine Verschiebung der Mittenfrequenz dieses Filters durch Regelung der Stärke dieser Magnetfelder zu erzielen.

25

2. Justierbares Filter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß es außerdem ein dünnes dielektrisches Plättchen (14) aufweist und daß der aus Ferritmaterial bestehende Resonator (1, 15, 16) mit dielektrischer Einschließung auf dem dünnen dielektrischen Plättchen liegt, das seinerseits auf dem Grund des Wellenleiters liegt.

35

3. Justierbares Filter nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Ferritresonator (1, 15, 16) auf dem Grund des Wellenleiters (2) liegt.

45

4. Justierbares Filter nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Ferritresonator (1) auf einem dünnen dielektrischen Plättchen (14) liegt, das seinerseits auf dem Grund des Wellenleiters (2) liegt.

50

Claims

55

1. An agile microwave filter including at least one dielectric confinement resonator (1, 15, 16) disposed on the bottom of a waveguide operating in

5

evanescent mode together with means (11, 11A, 11B, 17) for applying magnetic fields (H1, H2, H3) of adjustable intensity, characterized in that said dielectric confinement resonator (1, 15, 16) is made of ferrite material for the purpose of obtaining a shift in the center frequency of the filter by adjusting the intensity of said magnetic fields.

2. An agile microwave filter according to claim 1, characterized in that it further comprises a thin dielectric wafer (14), and in that said dielectric confinement resonator (1, 15, 16) made of ferrite material is placed on said thin dielectric wafer which is itself placed on said bottom of said waveguide.

3. An agile microwave filter according to claim 1 or claim 2, characterized in that the ferrite resonator (1, 15, 16) is placed on the bottom of the waveguide (2).

4. An agile microwave filter according to claim 1 or claim 2, characterized in that the ferrite resonator (1) is placed on a thin dielectric wafer (14) itself placed on the bottom of the waveguide (2).

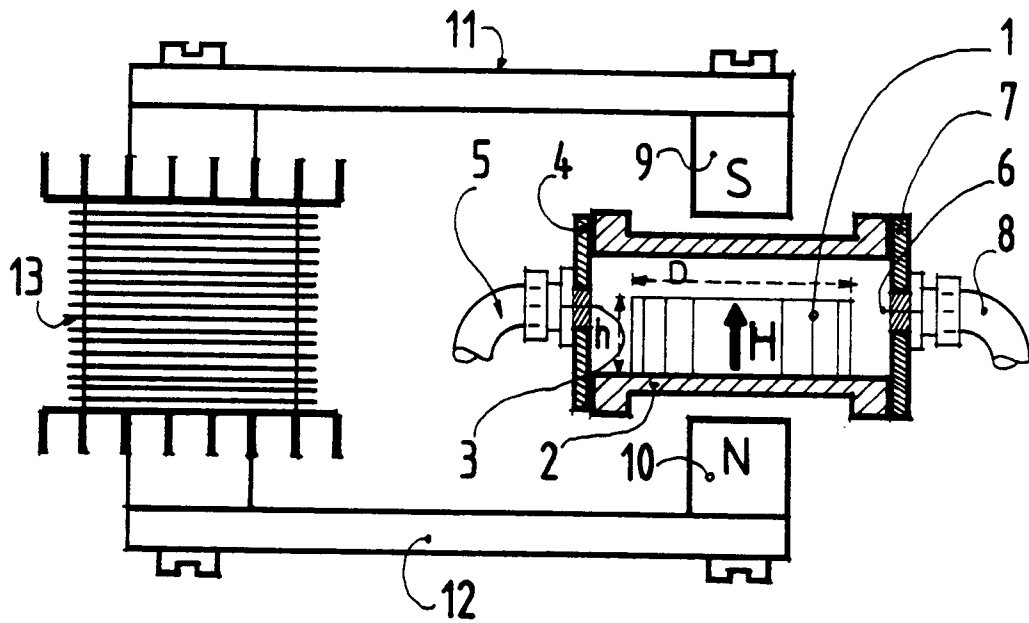


FIG 1

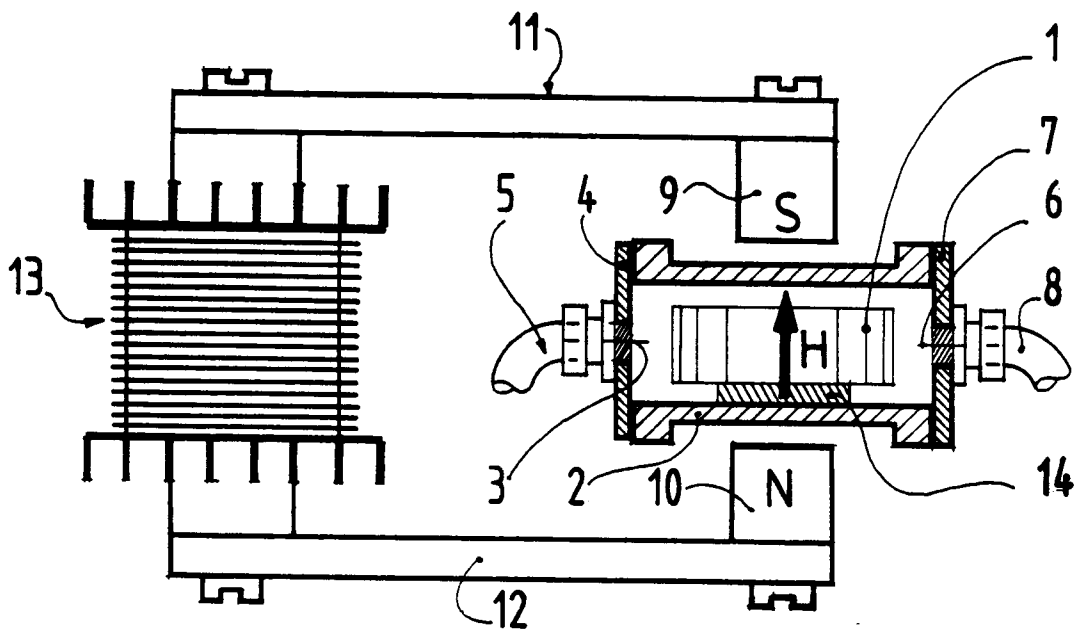


FIG 2

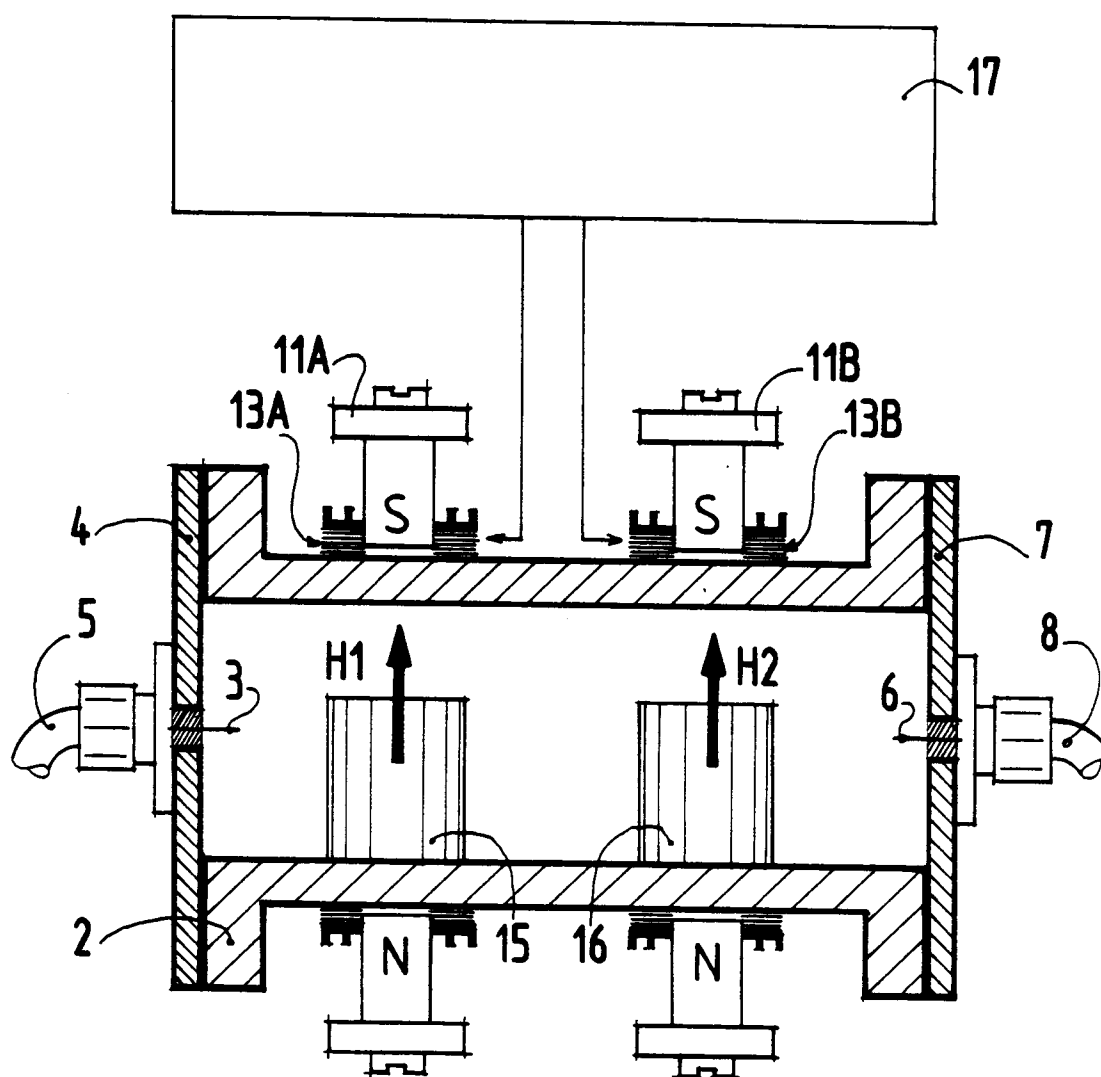


FIG 3