

①②

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 27.10.89.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public de la
demande : 13.06.03 Bulletin 03/24.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été
établi à la date de publication de la demande.*

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦① Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATO-
MIQUE Etablissement de caractère scientifique techni-
que et industriel — FR.

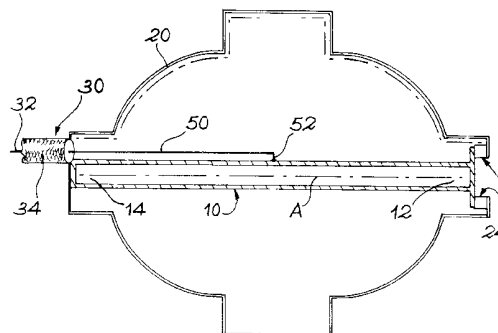
⑦② Inventeur(s) : GLENAT HENRI et KERNEVEZ NELLY.

⑦③ Titulaire(s) :

⑦④ Mandataire(s) : BREVATOME.

⑤④ RESONATEUR NOTAMMENT POUR SONDE A RMN.

⑤⑦ Résonateur notamment pour sonde à RMN.
Le résonateur de l'invention comprend un conducteur
central (10), un conducteur extérieur (20) et un câble coaxial
d'alimentation (30). L'âme de ce dernier se prolonge (50) le
long du conducteur central (10) pour former un moyen
d'adaptation d'impédance et de couplage.
Application à la réalisation de sondes à RMN.



DESCRIPTION

RESONATEUR NOTAMMENT POUR SONDE A RMN

5 La présente invention a pour objet un résonateur notamment pour sonde de magnétomètre à résonance magnétique nucléaire (RMN en abrégé). Elle trouve une application dans la mesure précise des champs magnétiques, notamment du champ magnétique terrestre.

10 Le magnétomètre dans lequel est utilisée de préférence la sonde de l'invention est d'un type connu, tel que décrit notamment dans les demandes de brevets français FR-A-1 447 226 et FR-A-2 098 624. Il n'est donc pas utile de décrire en détail cet ap-
15 pareil. Il suffit de rappeler qu'il comprend un ou plusieurs flacons contenant un échantillon liquide, disposé(s) dans un résonateur coaxial. Ce résonateur est constitué d'un conducteur central traversant le flacon et d'une paroi extérieure conductrice, autour
20 du flacon. La sonde comprend des enroulements de prélèvement et de réinjection d'un signal à la fréquence de LARMOR, laquelle est définie, d'une part, par le champ magnétique dans lequel baigne la sonde et, d'autre part, par le rapport gyromagnétique propre à
25 l'échantillon liquide utilisé. L'une des extrémités du conducteur central est reliée à des condensateurs d'accord en fréquence et l'autre à un générateur de très haute fréquence.

De façon plus précise, un résonateur pour
30 sonde RMN selon l'art antérieur est représenté sur la figure 1. Il comprend :

- un conducteur central 10 ayant une forme de cylindre circulaire avec un axe A, ce cylindre possédant une première extrémité 12 et une seconde extrémité 14 ;
- 35

- 5 - un conducteur extérieur 20, de révolution
 autour de l'axe A, constitué par une couche
 métallique déposée sur la paroi extérieu-
 re de flacons 22 contenant respectivement
 un échantillon qui correspond dans le
 cas d'une sonde RMN à une solution radica-
 laire, la couche métallique étant générale-
 ment divisée en secteurs ;
- 10 - des condensateurs d'accord 24, connectés
 entre la première extrémité 12 du conduc-
 teur central 10 et le conducteur extérieur
 20 ;
- 15 - un câble coaxial d'alimentation 30, avec
 une âme centrale 32 et une gaine conductri-
 ce extérieure 34 telle qu'une tresse,
 ce câble aboutissant au résonateur appelé
 aussi cavité variante au niveau de la
 seconde extrémité 14 du conducteur cen-
 tral ; la tresse 34 est reliée au conduc-
20 teur extérieure 20 et l'âme 32 à la seconde
 extrémité 14 du conducteur central par
 un prolongement 36 ; par ailleurs, cette
 extrémité 14 est reliée à son tour à la
 tresse par une boucle 38, généralement
25 constituée par un fil d'argent.

 Ce résonateur fonctionne de la manière
 suivante. L'énergie radiofréquence est apportée par
 le câble coaxial 30. La fréquence de résonance est
 ajustée par les condensateurs 24. Le conducteur central
30 10 constitue un point "chaud" (du point de vue du
 potentiel) et le conducteur extérieur 20 un point
 "froid". L'adaptation d'impédance entre le câble
 coaxial (dont l'impédance est en général de 50 Ohms)
 et le résonateur est obtenu par la boucle 38, qui
35 se comporte comme une inductance réglable disposée

en court-circuit à l'extrémité du câble coaxial.

Le schéma électrique équivalent de l'ensemble est représenté sur la figure 2. Ce schéma montre une inductance répartie 40, correspondant essentiellement
5 au conducteur extérieur 20, un condensateur réglable 42 correspondant aux condensateurs d'accord 24 et à la capacité répartie du résonateur et une inductance d'adaptation 44 correspondant au fil d'argent 38.

Bien que donnant satisfaction à certains
10 égards, ce résonateur de l'art antérieur présente des inconvénients :

- tout d'abord, il est le siège de pertes importantes par effet Joule ; il en résulte que le coefficient de surtension du résonateur est faible (environ 130) et que la
15 puissance radiofréquence à fournir est élevée ;
- ensuite, la présence d'une boucle telle que 38 à l'entrée du résonateur engendre un rayonnement radiofréquence autour de
20 l'appareil ;
- par ailleurs, l'adaptation au câble coaxial reste médiocre et ne permet guère d'abaisser le taux d'onde stationnaire (TOS)
25 en dessous de 1,4 ; au-dessus de 300 MHz, il devient même quasiment impossible d'adapter le résonateur ;
- enfin, la boucle d'adaptation rompt nettement la symétrie du résonateur, ce qui
30 rend la sonde anisotrope du point de vue du champ radiofréquence.

On peut ajouter à ces inconvénients de caractère électrique, un inconvénient d'ordre mécanique : la boucle d'adaptation est fragile et le réglage difficile ; en outre, elle ne se prête pas à une
35

industrialisation et relève plutôt du réglage en laboratoire.

La présente invention a justement pour but de remédier à tous ces inconvénients. Elle propose
5 un moyen simple de connexion du câble coaxial au résonateur. Ce moyen :

- 10 - réduit les pertes par effet Joule et permet d'augmenter la surtension du résonateur qui passe ainsi à une valeur de l'ordre de 400 à 500, ce qui réduit d'autant l'énergie radiofréquence à injecter;
- évite le rayonnement à l'extérieur du résonateur ;
- 15 - permet une meilleure adaptation câble-résonateur et autorise un TOS inférieur à 1,1 ;
- ne perturbe pas sensiblement la symétrie de l'ensemble ;
- 20 - autorise une industrialisation par un montage simplifié.

Tous ces résultats sont atteints, grâce à l'invention, par le fait que la seconde extrémité du conducteur central est connectée au conducteur extérieur et que l'âme du câble coaxial présente un
25 prolongement s'étendant dans le résonateur parallèlement au conducteur central pour former une boucle étroite et allongée le long du conducteur central.

Selon un premier mode de réalisation, le prolongement de l'âme du câble coaxial a son extrémité
30 fixée au conducteur central en un point éloigné de la seconde extrémité dudit conducteur, la boucle formée étant ainsi constituée par le prolongement en question et une partie du conducteur central et la gaine du câble coaxial est reliée au conducteur extérieur.

35 Selon un second mode de réalisation, le

prolongement de l'âme du câble coaxial a son extrémité fixée sur la gaine du câble coaxial, ce prolongement étant ainsi replié sur lui-même et formant une boucle longeant le conducteur central.

5 Dans des applications autres que les sondes RMN, il peut être avantageux de connecter en outre la gaine du câble coaxial au conducteur extérieur du résonateur.

10 De toute façon, les caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront mieux à la lumière de la description qui suit. Cette description se rapporte à des modes particuliers de réalisation et se réfère à des dessins annexés sur lesquels :

- 15 - la figure 1, déjà décrite, illustre un résonateur selon l'art antérieur ;
 - la figure 2, déjà décrite, est un schéma électrique équivalent d'un résonateur selon l'art antérieur ;
 - 20 - la figure 3 montre un résonateur selon l'invention dans un premier mode de réalisation ;
 - la figure 4 montre le circuit électrique équivalent de ce résonateur ;
 - 25 - la figure 5 montre un résonateur selon l'invention dans un second mode de réalisation ;
 - la figure 6 montre le circuit électrique équivalent correspondant ;
 - 30 - la figure 7 montre une variante de réalisation à support de boucle ;
 - la figure 8 montre une autre variante de réalisation à support de boucle ;
 - la figure 9 montre l'extrémité du câble coaxial d'alimentation.
- 35

On voit, sur la figure 3, un résonateur comprenant des moyens déjà représentés sur la figure 1, à savoir, un conducteur central 10, un conducteur extérieur 20, des condensateurs d'accord 24, un câble coaxial d'alimentation 30 avec son âme 32 et sa tresse 34. Le résonateur représenté diffère de celui de la figure 1 par le fait, d'une part, que l'extrémité 14 du conducteur central est électriquement reliée au conducteur extérieur 20, la tresse du câble coaxial (point froid) étant reliée au conducteur extérieur 20 et d'autre part, que l'âme 32 du câble coaxial présente un prolongement 50 s'étendant dans le résonateur, le long du conducteur central 10 et venant prendre contact avec celui-ci en un point 52 éloigné de l'extrémité 74 du conducteur central. Le point exact est défini en laboratoire, et correspond à la meilleure adaptation possible avec le câble d'alimentation.

Pour un résonateur cylindrique dont le conducteur central est de 10 cm, le diamètre de la paroi extérieure est de 8 cm, le joint de connexion 52 est situé environ à la moitié du conducteur central 10 pour une adaptation d'impédance à 50 Ω .

Le schéma équivalent de ce résonateur est représenté sur la figure 4. Ce schéma diffère doublement de celui de la figure 2 relatif à l'art antérieur : d'une part, le point de connexion entre l'âme du câble et le résonateur s'effectue maintenant entre deux inductances 40/1, 40/2 au lieu d'être à l'extrémité de l'inductance équivalente unique 40 ; d'autre part, la boucle inductive 44 est supprimée.

Le résonateur ainsi constitué présente une surtension de 370 avec un conducteur central de 8 mm de diamètre et une surtension de 480 avec un diamètre de 10 mm, le tout dans un conducteur extérieur sphéri-

que de 70 mm de diamètre. Ces valeurs (370 et 480) sont à comparer avec la valeur 130 de l'art antérieur.

Par ailleurs, la boucle formée par le prolongement 50 et le retour le long du demi-conducteur central, étant totalement enfermée dans le résonateur, le rayonnement de champ radiofréquence à l'extérieur de la sonde est nul.

Si la symétrie de révolution du résonateur est détruite par la présence du conducteur 50, il demeure au moins une symétrie par rapport au plan passant par le conducteur et l'axe A de l'ensemble.

Dans la variante de la figure 3, le prolongement 50 sert avant tout de moyen d'adaptation d'impédance. Il reste qu'une boucle est cependant formée entre l'extrémité de l'âme 32 du câble coaxial d'alimentation et sa tresse par le prolongement 50 et le retour le long de la génératrice du cylindre conducteur central 10. Cette boucle constitue un moyen de couplage inductif entre le câble coaxial et le résonateur. Dans le second mode de réalisation prévu par l'invention et illustré sur la figure 5, cette seconde fonction, de couplage inductif, est amplifiée.

Sur la figure 5, on voit un résonateur différent de celui de la figure 3 par la forme donnée au prolongement de l'âme du câble coaxial. Cette âme présente encore un prolongement 50, mais celui-ci est replié sur lui-même par un brin 51 venant se connecter sur la tresse 34 en un point 55. En pratique, les brins 50 et 51 sont constitués par exemple par un clinquant d'argent pur.

Le schéma électrique équivalent est représenté sur la figure 6. On voit que la boucle formée par les brins 50, 51 est en mutuelle induction avec l'inductance répartie 40 du résonateur.

Les figures 7 à 9 montrent divers modes de réalisation de cette boucle avec des moyens de mise en place dans le résonateur.

5 Sur la figure 7, le conducteur central 10 est entouré d'un manchon 60 en matériau isolant électrique et amagnétique (par exemple en verre de la marque "Pyrex" ou en macor). Ce manchon est percé d'un canal 62. C'est dans ce canal que la boucle de couplage 50, 51 va être introduite et maintenue.

10 Sur la figure 8, le moyen pour tenir la boucle de couplage est encore un canal 64 mais ménagé, cette fois, dans la paroi du flacon 22. Dans ce cas, cette boucle est située au sein de la solution radicalaire.

15 Dans les deux variantes, la boucle de couplage peut être obtenue comme illustré sur la figure 9, en repliant les deux brins 50 et 51 sur un doigt isolant 53 prolongeant le câble coaxial 30. Ce doigt 53 vient s'insérer, soit dans le canal 62 du manchon 60 de la figure 7, soit dans le canal 64 du flacon de la figure 8. Le matériau utilisé pour constituer le doigt 53 peut être le même que celui du manchon 60 (par exemple en macor).

20 Cette solution présente l'avantage d'une très bonne tenue mécanique et d'une grande simplicité de montage. Par ailleurs, le réglage du couplage peut s'effectuer très simplement par rotation du support 53, donc rotation du plan de la boucle.

30 A titre explicatif, le Demandeur a réalisé un résonateur ayant les dimensions suivantes :

a-) Support 60 :

Matériau : macor

- diamètre extérieur : 18 mm,

- diamètre intérieur : 8 mm,

35 - longueur : 55 mm.

b-) Doigt 53 :

matériau : macor

- diamètre extérieur : 4 mm,
- longueur : 30 mm.

5 c-) Boucle de couplage 50, 51 :

matériau : argent pur

- épaisseur : 2/10 mm,
- longueur : 27 mm,
- largeur : 2,5 mm.

10 Si la boucle utilisée dans l'invention peut rappeler, à certains égards, les boucles que l'on utilise pour exciter des cavités résonnantes dans la gamme des hyperfréquences, il faut noter cependant quelques différences essentielles de structure et
15 de fonction.

Dans une cavité hyperfréquence, la boucle est obtenue par une spire circulaire placée dans une zone où le champ hyperfréquence résonnant présente une forte composante magnétique. On utilisera ainsi,
20 pour exciter une cavité coaxiale, une spire placée dans le plan médian de la cavité, la spire étant orientée dans un plan perpendiculaire à l'axe de la cavité.

Ce n'est pas la boucle utilisée dans l'invention pour au moins trois raisons :

- 25 - d'abord, parce que la superficie de celle-ci est beaucoup plus faible que ce qui conviendrait avec le mode de fonctionnement des cavités hyperfréquences (à 60 MHz, la spire devrait avoir une superficie supérieure à 2 cm² alors que, dans
30 l'invention, la superficie est de l'ordre du cm²),
- ensuite parce que la forme de la boucle n'est pas circulaire mais très allongée
35 (par exemple, la longueur de la boucle

peut être d'environ 60 mm et la largeur de 2 mm),

- 5 - enfin, la boucle s'étend parallèlement à l'axe du résonateur et le long du conducteur central, sur près de la moitié de la longueur de celui-ci et non dans un plan perpendiculaire à l'axe.

Cette disposition originale permet un meilleur réglage de l'adaptation d'impédance. Avec une
10 spire circulaire comme celle des cavités hyperfréquences, le réglage de l'adaptation est très critique et l'adaptation ne serait pas assurée sur toute la gamme de température dans laquelle les sondes RMN
doivent fonctionner (généralement de -40°C à $+70^{\circ}\text{C}$
15 et même $+125^{\circ}\text{C}$).

REVENDEICATIONS

1. Résonateur coaxial notamment pour sonde à RMN, comprenant :

- 5 - un conducteur central (10) ayant un axe (A), une première extrémité (12) et une seconde extrémité (14),
 - un conducteur extérieur (20) de révolution autour de cet axe (A),
 - 10 - au moins un condensateur d'accord (24) connectés entre la première extrémité (12) du conducteur central et le conducteur extérieur (20),
 - 15 - un câble coaxial d'alimentation (30) avec une âme (32) et une gaine conductrice extérieure (34), ce câble aboutissant au résonateur au niveau de la seconde extrémité (14) du conducteur central (10),
- ce résonateur étant caractérisé par le fait que la seconde extrémité (14) du conducteur central (10) est connectée au conducteur extérieur (20) et que l'âme centrale (32) du câble coaxial (30) présente un prolongement (50) s'étendant dans le résonateur parallèlement au conducteur central (10) pour former une boucle étroite et allongée le long du conducteur central (10).

2. Résonateur selon la revendication 1, caractérisé par le fait que le prolongement (50) de l'âme (32) du câble coaxial (30) a son extrémité fixée au conducteur central (10) en un point (52) éloigné de la seconde extrémité dudit conducteur, la boucle formée étant ainsi constituée par le prolongement (50) et une partie du conducteur central (10) et par le fait que la gaine est reliée au conducteur extérieur (20).

35 3. Résonateur selon la revendication 1,

caractérisé par le fait que le prolongement (50) de l'âme (32) du câble coaxial (30) a son extrémité (55) fixée sur la gaine (34) du câble coaxial (30), ce prolongement étant ainsi replié sur lui-même et formant
5 une boucle (50, 51) longeant le conducteur central (10).

4. Résonateur selon la revendication 3, caractérisé en ce que la gaine est en outre reliée au conducteur extérieur.

10 5. Résonateur selon la revendication 3, caractérisé par le fait que le conducteur central (10) est entouré d'un manchon isolant (60) percé d'un canal (62) parallèle au conducteur central (10) et à proximité de celui-ci, la boucle (50, 51) étant
15 logée dans ce canal (62).

6. Résonateur selon la revendication 3, caractérisé par le fait que la surface extérieure (20) étant constituée d'une couche métallique (20) déposée sur la paroi d'un flacon (22), la paroi de
20 ce flacon présente une partie rentrante en forme de canal parallèle au conducteur central (10) et à proximité de celui-ci, la boucle (50, 51) étant logée dans ce canal.

7. Résonateur selon l'une quelconque des
25 revendications 5 et 6, caractérisé par le fait que le câble coaxial d'alimentation (30) se termine par une tige isolante (53) supportant le prolongement (50, 51) replié sur lui-même, cette tige (53) étant apte à s'engager dans le canal (62, 64) prévu dans
30 le manchon isolant (60) ou dans la paroi du flacon (22).

1 / 4

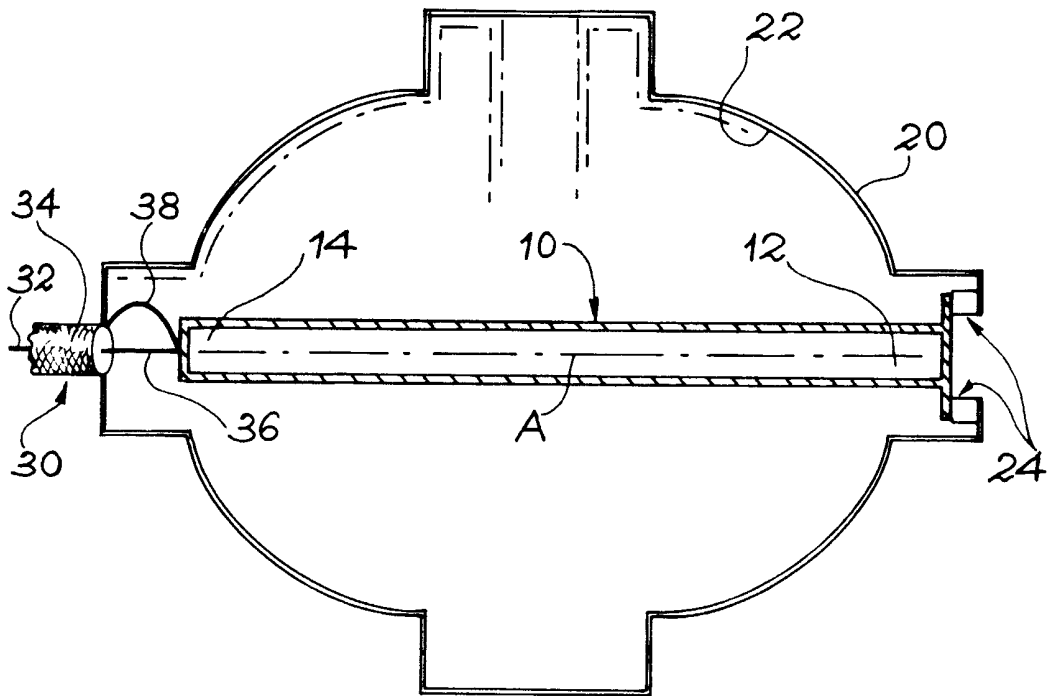


FIG. 1

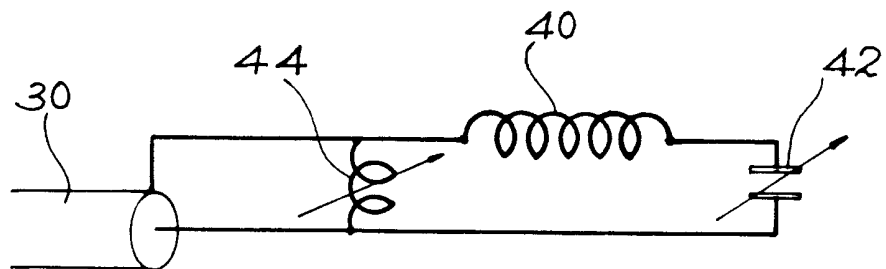


FIG. 2

2 / 4

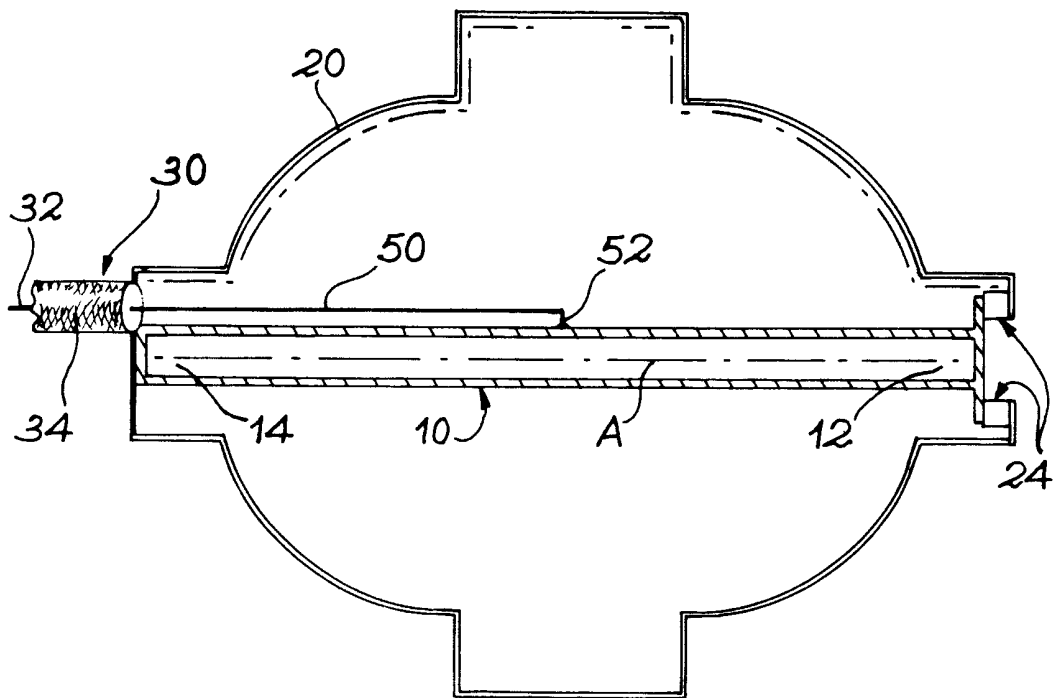


FIG. 3

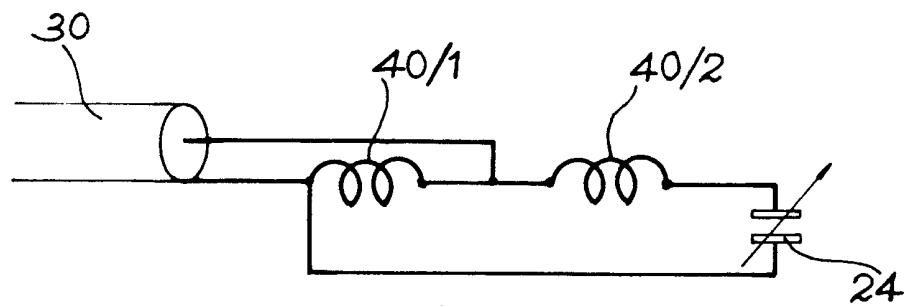


FIG. 4

4 / 4

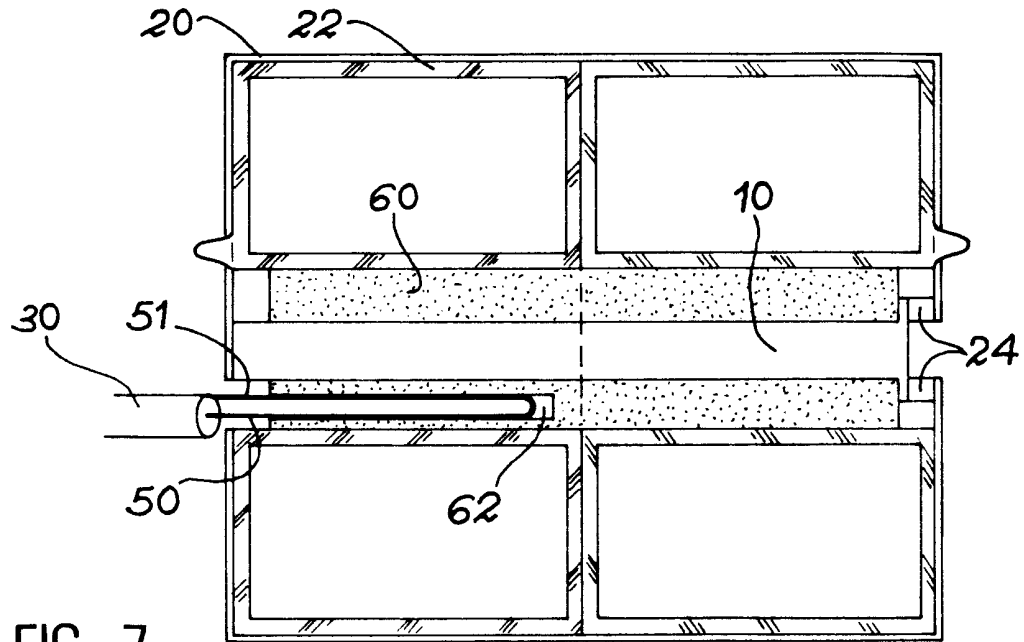


FIG. 7

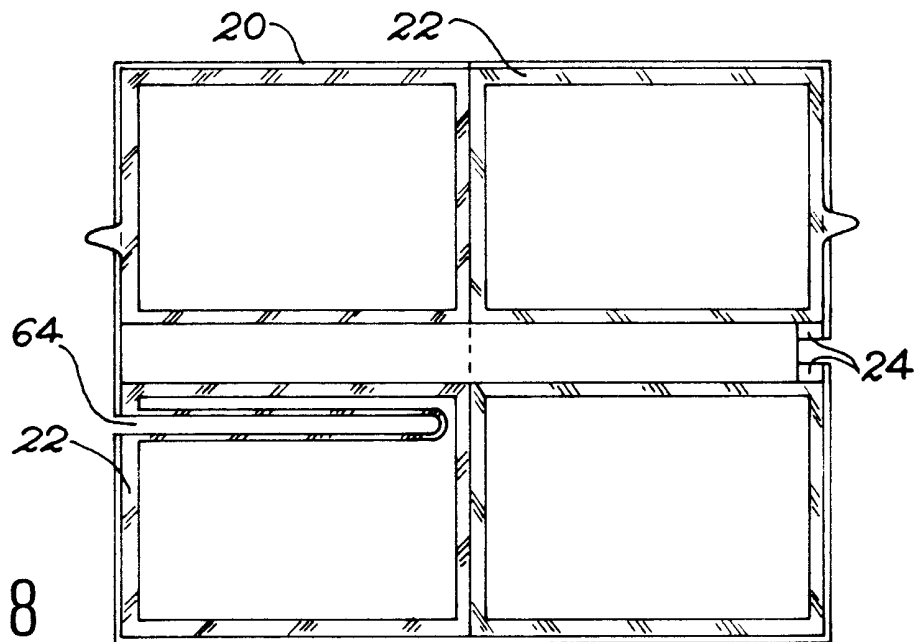


FIG. 8

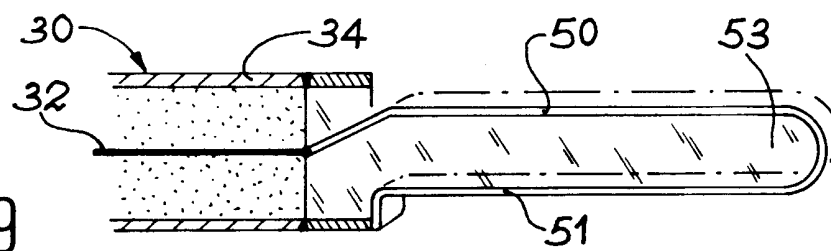


FIG. 9