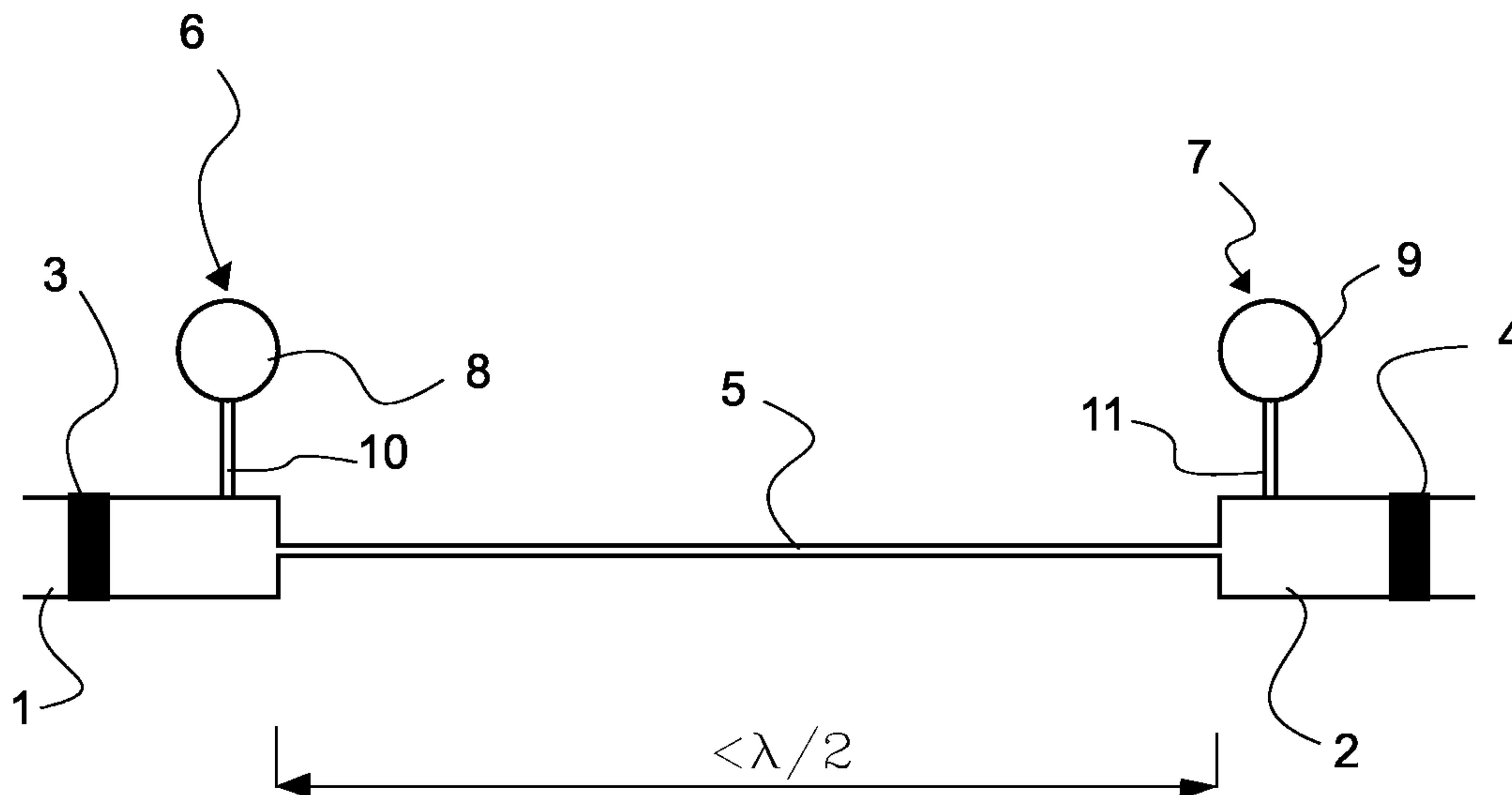




(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2005/05/03
 (87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2005/11/17
 (45) Date de délivrance/Issue Date: 2013/01/08
 (85) Entrée phase nationale/National Entry: 2006/11/03
 (86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2005/050299
 (87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2005/108768
 (30) Priorité/Priority: 2004/05/04 (FR0404773)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *F02G 1/043* (2006.01)
 (72) Inventeurs/Inventors:
 BRETAGNE, EMMANUEL, FR;
 FRANCOIS, MAURICE-XAVIER, FR
 (73) Propriétaires/Owners:
 UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE, FR;
 CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
 SCIENTIFIQUE, FR
 (74) Agent: GOWLING LAFLEUR HENDERSON LLP

(54) Titre : UNITE DE TRANSMISSION DE PUISSANCE ACOUSTIQUE POUR SYSTEMES THERMOACOUSTIQUES
 (54) Title: ACOUSTIC POWER TRANSMITTING UNIT FOR THERMOACOUSTIC SYSTEMS



(57) Abrégé/Abstract:

La présente invention concerne une unité de transmission de puissance acoustique pour systèmes thermoacoustiques comportant au moins un étage, comprenant :- au moins deux unités thermoacoustiques (3, 4, 12-16) comportant chacune un régénérateur ou un stack et deux échangeurs thermiques, - un résonateur acoustique comportant un tube et contenant un fluide et dans lequel s'établit un champ acoustique présentant des zones de forte impédance et des zones de faible impédance, - certaines unités thermoacoustiques (3, 4, 12-16) étant placées dans des zones de forte impédance adimensionnelle. Selon l'invention, chaque zone de forte impédance adimensionnelle comporte au plus une unité thermoacoustique, deux unités thermoacoustiques (3, 4, 12-16) successives étant toujours séparées par une zone de faible impédance adimensionnelle. Le résonateur comporte une section de diamètre réduit (5, 21-23) entre chacun des couples d'unités thermoacoustiques (3, 4, 12-16) successives et chaque rétrécissement de section (5, 21-23) est associé à au moins une dérivation (6, 7) comprenant une cavité (10, 11) dérivée, ladite dérivation (6, 7) permettant de détourner la plus grande partie du débit volumique.

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international(43) Date de la publication internationale
17 novembre 2005 (17.11.2005)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2005/108768 A1(51) Classification internationale des brevets⁷ : F02G 1/043(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2005/050299

(22) Date de dépôt international : 3 mai 2005 (03.05.2005)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
0404773 4 mai 2004 (04.05.2004) FR(71) Déposants (pour tous les États désignés sauf US) : UNI-
VERSITE PIERRE ET MARIE CURIE [FR/FR]; 4
place Jussieu, F-75252 Paris cedex 05 (FR). CENTRE
NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
[FR/FR]; 3 rue Michel Ange, F-75794 Paris cedex 16 (FR).

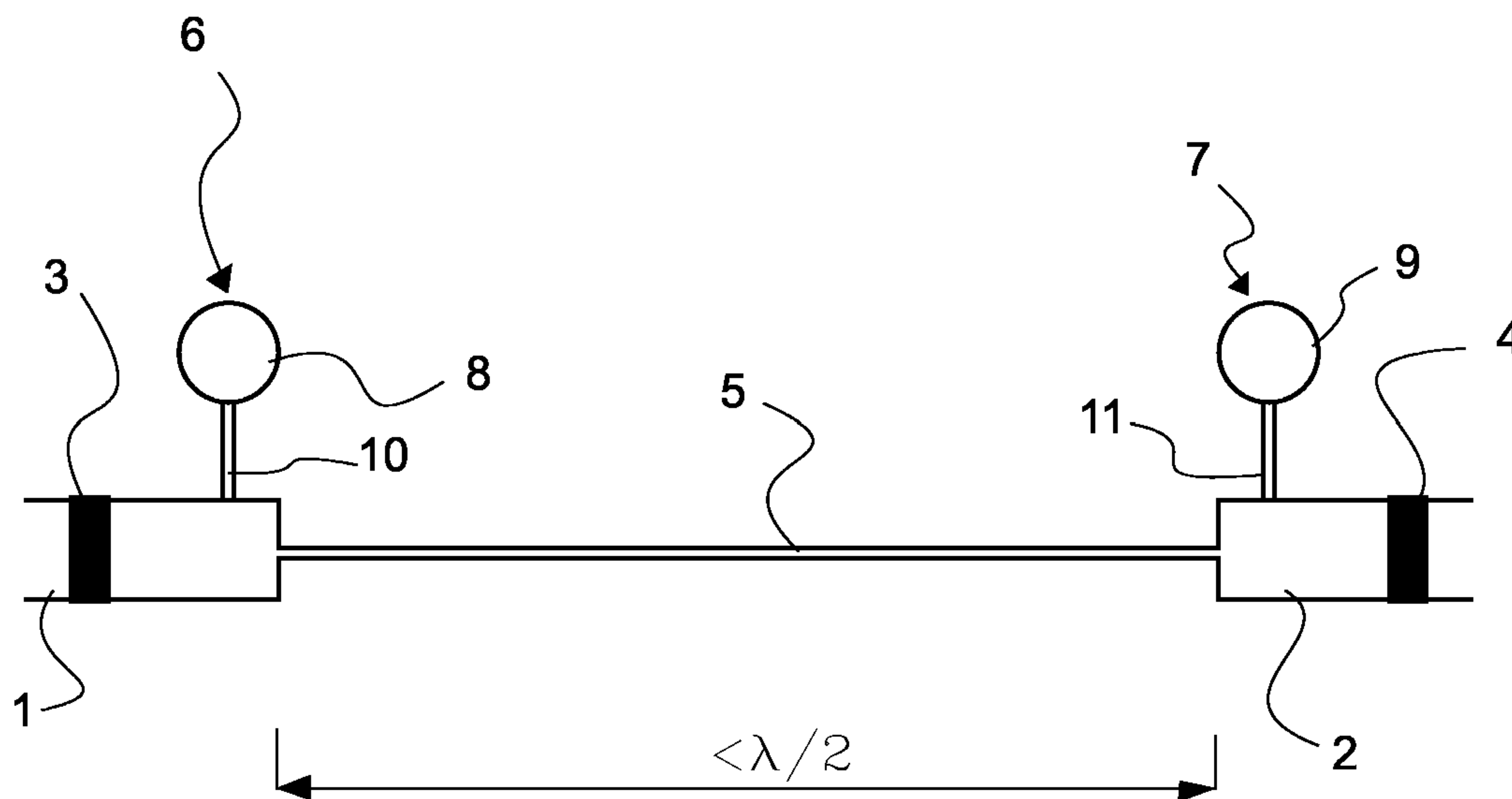
(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : BRE-
TAGNE, Emmanuel [FR/FR]; 10, rue Louis Blanc, Paris
75010 (FR). FRANCOIS, Maurice-Xavier [FR/FR]; 7
Route de Chevreuse, F-91190 Gif sur Yvette (FR).(74) Mandataire : MICHELET, Alain; Cabinet Harle & Phe-
lip, 7 rue de Madrid, F-75008 Paris (FR).(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO,
CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,
GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG,
KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,
PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: ACOUSTIC POWER TRANSMITTING UNIT FOR THERMOACOUSTIC SYSTEMS

(54) Titre : UNITE DE TRANSMISSION DE PUISSANCE ACOUSTIQUE POUR SYSTEMES THERMOACOUSTIQUES



(57) **Abstract:** The invention relates to an acoustic power transmitting unit for thermoacoustic systems comprising at least on stage provided with at least two thermoacoustic units (3, 4, 12-16) each of which comprises a regenerator or a stack and two heat exchangers, an acoustic resonator comprising a tube and containing a fluid and in which a magnetic field consisting of high impedance and low-impedance areas is arranged, wherein certain thermoacoustic units (3, 4, 12-16) are placed in high dimensionless impedance areas. According to said invention, each high dimensionless impedance area also comprises a thermoacoustic unit, wherein two successive thermoacoustic units (3, 4, 12-16) are always separated by low dimensionless impedance. The resonator comprises a reduced diameter section (5, 21-23) between each couple of successive thermoacoustic units (3, 4, 12-16) and each cross-sectional narrowing (5, 21-23) is associated with at least one by-pass (6,7) which comprises a deviation cavity (10, 11) and makes it possible to deviate the major part of a volume flow rate.

[Suite sur la page suivante]

WO 2005/108768 A1



TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclaration en vertu de la règle 4.17 :

— *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)) pour US seulement*

Publiée :

— *avec rapport de recherche internationale*
 — *avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues*

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(57) **Abrégé :** La présente invention concerne une unité de transmission de puissance acoustique pour systèmes thermoacoustiques comportant au moins un étage, comprenant :- au moins deux unités thermoacoustiques (3, 4, 12-16) comportant chacune un régénérateur ou un stack et deux échangeurs thermiques, - un résonateur acoustique comportant un tube et contenant un fluide et dans lequel s'établit un champ acoustique présentant des zones de forte impédance et des zones de faible impédance,- certaines unités thermoacoustiques (3, 4, 12-16) étant placées dans des zones de forte impédance adimensionnelle. Selon l'invention, chaque zone de forte impédance adimensionnelle comporte au plus une unité thermoacoustique, deux unités thermoacoustiques (3, 4,12-16) successives étant toujours séparées par une zone de faible impédance adimensionnelle. Le résonateur comporte une section de diamètre réduit (5, 21-23) entre chacun des couples d'unités thermoacoustiques (3, 4, 12-16) successives et chaque rétrécissement de section (5, 21-23) est associé à au moins une dérivation (6, 7) comprenant une cavité (10, 11) dérivée, ladite dérivation (6, 7) permettant de détourner la plus grande partie du débit volumique.

Unité de transmission de puissance acoustique pour systèmes thermoacoustiques

5 Cette invention se rapporte aux machines thermiques, moteurs et réfrigérateurs employant un procédé de conversion d'énergie thermoacoustique. En particulier, elle concerne les machines thermoacoustiques de tout type dont font partie les générateurs d'ondes et les réfrigérateurs thermoacoustiques, mais aussi la famille des machines de Stirling et d'Ericsson et la famille des tubes à gaz pulsé.

10 Toute machine thermique nécessite au moins la présence de deux sources de chaleur à des températures différentes, d'un système de transmission de travail mécanique et d'un agent de conversion d'énergie décrivant un cycle thermodynamique. Dans une machine thermoacoustique le travail mécanique prend la forme d'un travail acoustique, exprimé plus
15 communément par unité de temps en terme de flux de travail acoustique ou encore puissance acoustique et correspondant à la moyenne temporelle du produit de la pression acoustique par le débit volumique acoustique.

La notion de cycle thermodynamique et donc de conversion d'énergie est la base du fonctionnement de toute machine thermique. Dans les moteurs
20 thermiques une quantité de chaleur est convertie en travail acoustique et dans les réfrigérateurs une quantité de travail est consommée pour transférer de la chaleur d'un milieu à température dite « basse » vers un autre milieu à température plus élevée. La puissance des machines thermiques est directement liée à l' « ouverture » du cycle thermodynamique, i.e. l'aire formée par ce cycle.
25 Dans la plupart des machines non acoustiques, telles qu'un réfrigérateur domestique fonctionnant selon le cycle thermodynamique de Rankine par exemple, l'agent de conversion qui décrit le cycle thermodynamique est un fluide. Ce fluide est appelé « frigorigène », et est mis en circulation dans un circuit fermé où il se vaporise et se condense.

30 Dans les machines thermoacoustiques, l'agent de conversion est généralement un gaz, typiquement de l'hélium, et le cycle thermodynamique est mis en œuvre par une onde acoustique à une échelle plus réduite correspondant à celle du déplacement d'une particule de fluide qui oscille. C'est la coopération de l'ensemble des cycles thermodynamiques locaux, coopération
35 synchronisée naturellement par l'onde elle-même, qui permet une conversion

d'énergie à l'échelle globale du moteur (encore appelé générateur d'ondes) ou du réfrigérateur thermoacoustique.

Dans un système thermoacoustique le cycle thermodynamique ne prend place que dans la zone de contact, ou couche limite thermique acoustique, entre le fluide soumis à des phases de compression-détente par l'onde acoustique et un milieu solide qui réalise les sources de chaleur nécessaires à « l'ouverture » du cycle thermodynamique. Cette interaction fluide/solide en couche limite qui se traduit par des échanges de chaleur entre le fluide et le solide résulte des oscillations de température qui accompagnent toute propagation acoustique. Cette interaction fluide/solide met en cause la dilatabilité du fluide.

Dans un système thermoacoustique, les cycles thermodynamiques locaux accomplis peuvent suivant le type de champ acoustique s'apparenter plutôt à des cycles de Brayton ou plutôt à des cycles d'Ericsson et Stirling.

On obtient un premier type de fonctionnement dit, de 'Brayton', lorsque l'onde acoustique s'apparente à une onde plutôt stationnaire, c'est-à-dire ayant un déphasage entre pression acoustique et déplacement particulaire proche de 180° , et un second type de fonctionnement dit de 'Ericsson ou Stirling' lorsque l'onde est plutôt progressive, c'est-à-dire présente un déphasage entre pression acoustique et déplacement particulaire proche de 90° .

La réalisation du cycle thermodynamique local nécessite que des transformations thermodynamiques se succèdent de façon coordonnée dans le temps. Ainsi les apports de chaleur sont tels que le fluide d'un générateur d'ondes thermoacoustique exécute localement une extension (dilatation) thermique lorsque sa pression est maximale et une contraction thermique lorsque sa pression est minimale.

L'extension thermique se produit lorsque le fluide reçoit de la chaleur et inversement.

La synchronisation des transformations thermodynamiques qui traduit un 'arrangement' entre les phases de déplacement, compression-détente et extension-contraction du fluide est réalisée par l'onde acoustique.

Le milieu solide se présente comme une matrice plus ou moins dense et relativement uniforme permettant une bonne propagation des ondes acoustiques dans la mesure où les dimensions typiques sont très inférieures à la longueur d'onde correspondant au champ acoustique.

Ce milieu solide est constitué d'un ensemble de pores ou canaux, placés en parallèle, permettant le passage d'un fluide d'une extrémité à l'autre de la matrice. Ces canaux peuvent avoir des formes très variées, et ne sont pas nécessairement identiques.

5 Cette matrice solide active, dans laquelle le fluide oscille, a nécessairement une caractéristique d'aspect δ_κ/R_h différente pour permettre la réalisation des deux types de fonctionnement décrits précédemment.

δ_κ désigne l'épaisseur de couche limite thermique et est définie par $\delta_\kappa = \sqrt{2 \frac{\kappa}{\omega}}$ où κ est la diffusivité thermique du fluide prise à la température

10 moyenne de ce même fluide et ω la pulsation de l'onde acoustique. R_h désigne le rayon hydraulique moyen de la matrice solide pris au sens des milieux poreux.

Ainsi dans le premier type de fonctionnement dit de 'Brayton', δ_κ est de l'ordre de R_h et on appelle alors couramment la matrice solide, un « stack ». Dans le second type de fonctionnement dit de 'Ericsson ou Stirling', δ_κ est très supérieure à R_h et on appelle alors la matrice solide un « régénérateur », en référence aux machines à régénération de Stirling.

15 Alors que dans un régénérateur, un bon contact thermique est établi entre les éléments solides et le gaz, au contraire ce contact n'est pas bon dans les stacks.

20 Dans le cas d'un régénérateur, le déphasage entre la pression acoustique et la vitesse acoustique est proche de zéro ou présente une zone où le déphasage est nul. Au contraire dans le cas du stack, ce déphasage est toujours important et proche de 90° .

25 Le régénérateur tout comme le stack sont des organes soumis à une distribution de température stationnaire, en dépit du déplacement oscillant du fluide, car ils sont placés entre deux « sources » de chaleur. Il s'établit donc une distribution spatiale de sources de chaleur présentant des températures intermédiaires à celles des deux sources de chaleur externes.

30 Un fonctionnement convenable, aussi bien d'un stack que d'un régénérateur, requiert qu'ils soient, chacun, placés entre deux échangeurs thermiques maintenus à des températures constantes et différentes afin de constituer une machine thermique. On emploie alors les termes « unité de stack » ou « unité de régénérateur » pour désigner un stack ou un régénérateur placé entre deux échangeurs thermiques.

La distribution de température aussi bien dans un générateur que dans un stack, est imposée dans le cas d'un fonctionnement moteur, par l'apport de chaleur à un des échangeurs thermiques de l'unité de régénérateur ou de l'unité de stack. L'apport de chaleur peut être obtenu à partir d'énergie électrique, nucléaire ou solaire, par combustion, ou encore par récupération de tout rejet thermique à température appropriée.

Ce sont les gradients de température locaux, consécutifs à la distribution de température, qui sont responsables de la conversion d'énergie thermique en énergie acoustique et ainsi de la génération d'ondes acoustiques de forte puissance acoustique.

Dans le cas d'un fonctionnement en réfrigérateur, la distribution de température dans le régénérateur est générée par l'onde acoustique.

Les unités de stack peuvent être utilisées en fonctionnement moteur pour générer de la puissance thermoacoustique dans une machine thermoacoustique, produisant ainsi le même effet qu'un moteur acoustomécanique mais avec l'avantage de ne comporter aucune pièce mécanique en mouvement. Toujours en fonctionnement moteur, les unités de régénérateur peuvent être utilisées pour amplifier le flux de puissance acoustique engendré par les moteurs ou par les unités de stack dans un résonateur acoustique. Idéalement le taux d'amplification de la puissance acoustique dans un régénérateur est égal au rapport de la température de l'échangeur thermique où s'effectue l'apport de chaleur à celui où est extraite la chaleur non convertie, les températures étant exprimées en Kelvin. Dans un régénérateur l'amplification du flux de puissance acoustique s'effectue suivant la direction correspondant à des gradients de température positifs.

En fonctionnement réfrigérateur, les unités de stack et de régénérateurs sont utilisées indifféremment pour permettre une extraction de chaleur d'un milieu à refroidir. Cette chaleur est transférée à un échangeur de chaleur à plus haute température pour y être évacuée. La température la plus élevée peut être choisie de manière variable, ce qui présente un avantage par rapport à beaucoup de technologies de réfrigération telles la réfrigération par condensation-vaporisation par exemple. Elle n'est ainsi pas nécessairement proche de 293K et peut être par exemple inférieure à 200K pour des applications cryogéniques ou supérieure à 500K pour des applications dans un environnement à haute température.

Le choix d'une unité de réfrigération sous forme d'unité de stack ou de régénérateur influence directement le coefficient de performance de l'unité, encore appelé coefficient de conversion d'énergie, lequel est défini comme le rapport de la quantité de chaleur extraite à la quantité de travail acoustique consommée, et le différentiel de température entre l'échangeur thermique à température la plus basse et l'échangeur thermique à température la plus haute.

Ainsi, conformément aux rendements théoriques des cycles de Brayton et d'Ericsson (ou Stirling), une unité de stack ne permet pas en général d'obtenir un coefficient de performance aussi élevé que celui d'une unité de régénérateur. En outre, une unité de régénérateur est généralement mieux adaptée à de grands différentiels de température qu'une unité de stack.

Par extension, on désigne également « Unité de régénérateur », ou « Unité de régénérateur étendue », un régénérateur associé à ses deux échangeurs auxquels on accole un tronçon de tube et un troisième échangeur de chaleur. Le tronçon de tube constitue un volume de gaz tampon permettant d'isoler thermiquement l'échangeur le plus chaud dans le cas d'une unité d'amplification de puissance acoustique ou le plus froid dans le cas d'une unité de réfrigération. Le troisième échangeur placé à une extrémité participe au contrôle de la distribution de température dans le tronçon de tube. Dans ce mode de réalisation particulier et pour une application en tant qu'unité de réfrigération, on appelle alors l'unité de régénérateur, une « Unité de tube à gaz pulsé ». Pour des raisons de stabilité en regard des effets de convection naturelle induits par la gravité, on place de préférence l'unité de régénérateur étendue verticalement, l'échangeur à la température la plus élevée parmi les deuxième et troisième échangeurs étant placé à l'altitude la plus élevée.

Une machine thermoacoustique est ainsi constituée d'unités thermoacoustiques actives placées dans un résonateur acoustique. Le résonateur a entre autre un rôle de guide d'onde. Il peut être utilisé à sa fréquence de résonance ou non. Par exemple dans le cas d'une source d'énergie acoustique constituée d'un haut-parleur, on peut choisir de préférence une fréquence de fonctionnement différente de la fréquence de résonance. Dans le cas où la machine acoustique comprend un générateur d'ondes acoustique, la géométrie du résonateur conditionne étroitement la fréquence de fonctionnement $f_{\text{fonctionnement}}$ de l'appareil.

Dans une machine thermoacoustique, l'impédance Z est définie comme étant le rapport entre la pression acoustique P_1 et la vitesse acoustique u_1 . Chacun de ces deux paramètres P_1 et u_1 peut être mesuré localement, on peut ainsi accéder à cette impédance Z en chaque point. L'indice 1 de chaque paramètre précise qu'il s'agit d'une grandeur acoustique, infiniment petit du premier ordre.

L'impédance adimensionnelle est le rapport $|Z|/\rho c$ où est ρ la masse volumique du fluide contenu dans le résonateur et c est la vitesse du son dans ce même fluide et $|Z|$ le module de Z .

Il est connu que les unités thermoacoustiques ne fonctionnent correctement que dans des zones où l'amplitude des déplacements des particules fluide est raisonnablement faible et où l'amplitude de la pression acoustique est importante.

Ceci revient à placer les unités thermoacoustiques dans une zone de forte impédance adimensionnelle.

Un objectif de cette invention est de permettre une amélioration des performances globales d'une machine thermoacoustique sur le plan thermodynamique. En particulier cette invention se révèle intéressante pour la réalisation d'une machine thermoacoustique associant une ou des unités de tubes à gaz pulsé avec un générateur d'ondes thermoacoustique composé d'unités de stack et de régénérateur.

Dans une machine thermoacoustique comprenant plus d'une unité thermoacoustique la transmission de puissance acoustique entre deux unités de stack, de régénérateur ou de tube à gaz pulsé doit, bien entendu, être maximale pour conserver à la machine une efficacité énergétique importante.

Ainsi, on connaît deux positionnements possibles pour placer deux unités thermoacoustiques dans un résonateur acoustique. Ces unités thermoacoustiques peuvent être placées:

- Soit consécutivement et au plus près, ce qui nécessairement conduit à une transmission de puissance acoustique presque intégrale entre les deux unités. Ce premier agencement revient, par exemple, à placer les unités en cascade dans une même zone de forte impédance adimensionnelle (voir Gregory W. Swift et al. US-6,658,862).

- Soit à des zones de forte impédance adimensionnelle distinctes, chacune de ces zones étant séparée par une zone de faible impédance adimensionnelle. Ce

second agencement correspond, par exemple, classiquement au placement d'un tube de longueur proche de $\lambda/2$ au plan acoustique entre les deux unités, la longueur d'onde λ étant telle que $\lambda = \frac{c}{f_{\text{fonctionnement}}}$ où $f_{\text{fonctionnement}}$ est la fréquence

5 de fonctionnement de la machine thermoacoustique. Cependant, ce second agencement conduit inévitablement à des pertes de puissance acoustique plus importantes entre les deux unités. Ces pertes sont essentiellement liées à la formation de turbulences acoustiques dans la zone de faible impédance adimensionnelle qui est aussi généralement une zone de fortes vitesses acoustiques.

10 Le premier agencement semble donc favorable. Néanmoins, compte tenu de l'encombrement matériel des unités thermoacoustiques, un fonctionnement optimal de chacune de celles-ci ne peut être satisfait parfaitement dans une même zone de forte impédance adimensionnelle à partir de plus de 3 unités thermoacoustiques. Il est alors nécessaire d'utiliser un dispositif d'extension de
15 la même zone de forte impédance adimensionnelle (Swift et al., US-6,658,862). Or ce dispositif d'extension se révèle inévitablement consommateur de puissance acoustique.

De plus, ce premier agencement présente peu de paramètres de réglage indépendants. Il en résulte que le mauvais fonctionnement d'un seul élément de
20 la cascade peut être très préjudiciable au fonctionnement de l'ensemble.

Bien entendu, la coordination nécessaire des unités thermoacoustiques dans une même zone de forte impédance adimensionnelle et donc leur réglage, devient de plus en plus complexe lorsque le nombre d'unités thermoacoustiques, augmente. Par ailleurs, un frein supplémentaire à l'accumulation d'unités
25 thermoacoustiques dans une même zone de forte impédance adimensionnelle est la difficulté de garantir la stabilité d'un tel système lors d'un fonctionnement dans des conditions variables (par exemple, dans une zone géographique soumise à de forts différentiels de température entre le jour et la nuit).

Un objet de la présente invention est donc de proposer un dispositif simple dans
30 sa conception et dans son mode opératoire permettant une transmission importante de puissance acoustique entre chaque unité de stack ou régénérateur, ou de tube à gaz pulsé tout en limitant les pertes d'énergie par des mécanismes de dissipation visqueuse ou en permettant de grouper dans un

espace réduit plusieurs unités consécutives sans détériorer leurs performances individuelles.

Ainsi selon l'invention, il a été constaté qu'il est possible de placer chaque unité thermoacoustique à des zones de forte impédance adimensionnelle et d'en placer plusieurs, à des zones de forte impédance adimensionnelle distinctes, chacune de ces zones étant séparée par une zone de faible impédance adimensionnelle.

Un autre objet de l'invention est de permettre l'établissement de paramètres acoustiques conformes à un fonctionnement optimisé de chaque unité thermoacoustique, ceci essentiellement indépendamment du fonctionnement des unités thermoacoustiques adjacentes. Cette possibilité de réglage et de contrôle introduite par l'invention est particulièrement avantageuse lorsque les unités sont groupées.

L'invention permet aussi avantageusement de réduire les dimensions d'une telle machine et donc son encombrement.

A cet effet, l'invention concerne une unité de transmission de puissance pour systèmes thermoacoustiques comportant au moins un étage, comprenant :

- au moins deux unités thermoacoustiques comportant chacune un régénérateur ou un stack et deux échangeurs thermiques,
- un résonateur acoustique comportant un tube et contenant un fluide et dans lequel s'établit un champ acoustique présentant des zones de forte impédance adimensionnelle et des zones de faible impédance adimensionnelle,
- certaines unités thermoacoustiques étant placées dans des zones de forte impédance adimensionnelle.

Selon l'invention :

- chaque zone de forte impédance adimensionnelle comporte au plus une unité thermoacoustique,
 - deux unités thermoacoustiques successives étant toujours séparées par une zone de faible impédance adimensionnelle,
 - le résonateur comporte une section de diamètre réduit entre chacun des couples d'unités thermoacoustiques successives,
- et chaque rétrécissement de section est associé à au moins une dérivation comprenant une cavité, ladite dérivation permettant de détourner une partie au moins du débit volumique du tube.

On entend par "rétrécissement", une zone dans laquelle le diamètre est diminué par rapport au plus grand diamètre de tube de la zone de forte impédance adimensionnelle.

5 Dans différents modes de réalisation, la présente invention concerne également les caractéristiques suivantes qui devront être considérées isolément ou selon toutes les combinaisons techniquement possibles:

- chaque rétrécissement de section est associé à deux dérivations, placées respectivement à chaque extrémité du rétrécissement ;

- le rétrécissement de section est continu ;

10 On entend par "continu", des variations progressives sans saut par opposition à une variation "discontinue" illustrée par une marche.

- le rétrécissement de section prend la forme d'un cône ;

- le rétrécissement de section est discontinu ;

- le rétrécissement de section prend la forme d'une marche ;

15 - chaque dérivation comprend un conduit reliant la cavité au tube ;

- chaque dérivation comporte de plus des moyens de régulation thermique permettant de contrôler le débit dans la dérivation ;

- des systèmes résistifs sont associés à l'un au moins des conduits ;

- elle comporte au moins un élément actif acoustiquement permettant

20 l'adaptation des conditions de fonctionnement des unités thermoacoustiques ;

- l'élément actif acoustiquement est une unité de stack placée dans la cavité dérivée ;

- l'élément actif acoustiquement est un haut-parleur placé dans la cavité dérivée.

25 Dans différents modes de réalisation possibles, l'invention sera décrite plus en détail en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 est une représentation schématique d'une unité de transmission de puissance pour systèmes thermoacoustiques, selon un premier mode de réalisation de l'invention;

30 - la figure 2 est une représentation schématique d'une unité de transmission et d'amplification de puissance pour systèmes thermoacoustiques, selon un deuxième mode de réalisation de l'invention;

- la figure 3 est une représentation schématique d'une unité de transmission de puissance pour systèmes thermoacoustiques, selon un troisième

35 mode de réalisation de l'invention;

- la figure 4 est une représentation schématique d'un conduit menant à une cavité dérivée selon un premier mode de réalisation ;

- la figure 5 est une représentation schématique d'un conduit menant à une cavité dérivée selon un deuxième mode de réalisation ;

5 - la figure 6 est une représentation schématique d'un conduit menant à une cavité dérivée selon un troisième mode de réalisation ;

- la figure 7 est une représentation schématique d'un conduit menant à une cavité dérivée avec un dispositif de contrôle de sa température selon un quatrième mode de réalisation ;

10 - la figure 8 est une représentation schématique d'un conduit menant à une cavité dérivée, ladite cavité comprenant un élément actif acoustiquement selon un cinquième mode de réalisation ;

- la figure 9 est une vue en coupe d'un résonateur présentant des dérivations multiples selon un mode de réalisation particulier ;

15 - la figure 10 est une représentation schématique d'une section de tube de diamètre réduit avec un dispositif de contrôle de sa température selon un mode de réalisation de l'invention ;

- la figure 11 est une représentation schématique de l'évolution du débit volumique et de la pression acoustique dans la première section de tube de diamètre réduit de l'unité de transmission de la figure 2 ;

20 - la figure 12 est une représentation schématique de l'évolution du débit volumique et de la pression acoustique dans la deuxième section de tube de diamètre réduit de l'unité de transmission de la figure 2 (figure 12A) et la figure 12B est une représentation schématique de l'évolution de l'amplitude et de la phase du débit volumique et de la pression acoustique dans la deuxième section de tube de diamètre réduit de l'unité de transmission de la figure 2.

25 De manière classique, l'unité de transmission de puissance pour systèmes thermoacoustiques fait partie intégrante d'un résonateur acoustique comportant un tube principal de géométrie quelconque et généralement de diamètre uniforme D . Ce résonateur, en combinaison avec les autres éléments du dispositif, définit la fréquence du système et la longueur d'onde correspondante.

30 Le tube principal comprend selon l'invention un premier 1 et un deuxième 2 élément qui sont reliés par une section de tube 5 de diamètre réduit d . Les extrémités des premier et deuxième éléments 1, 2, reliées par ladite section de

35

tube 5 de diamètre réduit, comportent chacune une cavité dérivée ou dérivation 6, 7. Chaque dérivation 6, 7 comprend une cavité 8, 9 représentant un volume fermé relié à un conduit 10, 11, agissant sur les caractéristiques acoustiques, et notamment sur le débit volumique acoustique, du tube principal (figure 1).

5 Des cellules ou unités thermoacoustiques 3, 4 sont disposées dans le résonateur, dans des zones de forte impédance adimensionnelle, deux zones de forte impédance adimensionnelles successives étant séparées par une zone de faible impédance.

10 On sait que les dérivation 6, 7 permettent de modifier les paramètres acoustiques et en particulier le débit volumique à l'entrée (ou à la sortie) de la section de tube de diamètre réduit 5.

L'invention permet donc d'obtenir une transmission optimale de la puissance acoustique entre chaque unité thermoacoustique 3, 4 tout en maintenant un encombrement réduit du système.

15 Si la valeur du débit est très élevée et que les conditions exposées plus haut sont difficiles à satisfaire, il est possible de mettre plusieurs dérivation 6, 7 en parallèle pour distribuer le débit initial (Figure 9).

Par ailleurs, la section de diamètre réduit 5 peut être constituée d'une succession de réductions et d'augmentations de diamètre.

20 L'évolution du débit dans la section de diamètre réduit peut être contrôlée en agissant sur le gradient de température local (figure 10).

Il est connu que les unités de régénérateur ont un meilleur rendement de conversion d'énergie que les unités de stack et il est donc recommandé d'utiliser le plus possible des unités de régénérateur pour composer une machine thermoacoustique. Les unités de régénérateur nécessitent cependant l'injection d'une puissance acoustique à leur extrémité à température 'ambiante', c'est-à-dire à l'extrémité à partir de laquelle de la chaleur est rejetée vers l'extérieur de la machine, et ne peuvent être utilisées exclusivement dans la composition d'une machine thermoacoustique à l'exception de toute source de puissance acoustique comme une unité de stack par exemple.

30 Dans la présente invention, un mode de réalisation préféré est d'associer des unités en cascade pour former une machine et ainsi fournir une grande amplification d'une petite puissance créée initialement par une petite unité de stack ou un source acoustique mécanique. La faible efficacité du stack en
35 comparaison des régénérateurs prend ainsi une part négligeable dans l'efficacité

totale, d'autant plus que la quantité de puissance dissipée dans la transmission entre unités reste faible.

La Figure 2 montre une telle unité de transmission et d'amplification de puissance pour systèmes thermoacoustiques dans un deuxième mode de réalisation de l'invention. Le résonateur comprend une unité de stack 12 permettant de produire une puissance acoustique, qui va être amplifiée par des unités de régénérateur 13-14 placées en cascade et utilisés par les unités de "tube à gaz pulsé" 15-16. Ces unités thermoacoustiques 12-16 sont chacune disposées dans une zone de forte impédance adimensionnelle dans le résonateur et sont séparées de l'unité adjacente par une zone de faible impédance adimensionnelle. Le résonateur comprend donc un ensemble de 4 éléments de tube principal 17-20 de diamètre D_j où $j = 1$ à 4, qui sont reliés entre eux par des sections ou tubes de diamètre réduit 21-23 pouvant présenter des longueurs différentes. Dans le diamètre D_j où $j = 1$ à 4 de chaque tube principal, on retient la section passante pour l'onde acoustique. En effet le diamètre du résonateur peut être plus important pour contenir de l'isolation thermique (fibre de céramique) et le diamètre réellement passant peut correspondre au diamètre intérieur d'un tube coaxial, lui-même de faible épaisseur pour limiter les effets de conductions thermiques.

Ces sections de diamètre réduit 21-23 permettent de transmettre de façon optimisée la puissance acoustique au travers de zones de faible impédance adimensionnelle, lorsqu'une partie au moins du débit volumique acoustique dans l'élément de tube principal 17-20 a préalablement été "détournée" dans une cavité placée en dérivation 24-29. Une cavité placée en dérivation 24-29 est ainsi visible près de chaque zone de changement de section.

Dans un premier mode de réalisation d'un élément de conduite 30 comprenant une section de tube de diamètre réduit 21 et deux dérivation 24, 25 celui-ci présente une longueur équivalente au plan acoustique à $\lambda/2$, où λ désigne la longueur d'onde de l'onde acoustique privilégiée. Par "élément de conduite de longueur équivalente au plan acoustique à $\lambda/2$ ", on entend que l'élément de résonateur est compris entre deux zones de forte impédance adimensionnelle et incorpore une section d'impédance nulle pour l'onde acoustique privilégiée.

Le résonateur comprend un premier 17 et un deuxième 18 éléments reliés à une de leurs extrémités par une première section de tube 21 de diamètre réduit

d (Fig. 2). Afin d'éviter la création de pertes de puissance acoustique par turbulence acoustique dans la zone de faible impédance adimensionnelle, qui est aussi généralement une zone de fortes vitesses acoustiques, les extrémités des premier 17 et deuxième 18 éléments comportent chacune une cavité dérivée 24, 25 comprenant un conduit 31, 32. Ainsi en dérivant une partie au moins du débit volumique présent dans le tube principal 17, 18 dans la cavité dérivée 24, 25, le dispositif permet de maintenir un nombre de Reynolds Re très inférieur au nombre de Reynolds critique $Re_{critique}$ au-delà duquel le phénomène de turbulence acoustique apparaît. Cela permet à la fois de diminuer la dissipation d'énergie linéique, de conserver au système un comportement acoustique laminaire, ainsi que de privilégier une modélisation linéaire.

Il est connu que les effets de turbulence dans un tube résonant peuvent engendrer des pertes très importantes, à hauteur de 90% de l'ensemble des pertes sur une longueur globalement équivalente à $\lambda/2$ au plan acoustique.

Il est de plus connu que le nombre de Reynolds acoustique est défini comme $Re = \frac{u_1 d}{A \nu}$ où d est le diamètre du tube, de grande longueur, ν la viscosité cinématique du fluide et A l'aire d'une section de tube. Le Reynolds acoustique critique, $Re_{critique}$, a typiquement une valeur comprise entre 10^5 et 10^6 [S. M. Hino et al. ; Journal of Fluid Mechanics **75** (1976) 193-207].

Réduire le diamètre a un effet néfaste sur la dissipation par turbulence acoustique sauf dans le sens de l'invention pour laquelle le débit volumique U_1 est réduit à l'entrée du tube. La Figure 11 montre une variation typique du débit volumique dans le tube réduit 21 et l'effet des cavités dérivées 24, 25 sur la réduction du débit dans le tube. La première courbe 33 (en trait plein) montre l'évolution du débit volumique et la seconde courbe 34 (en trait continu et cercles) montre l'évolution de la pression acoustique dans la section de tube de diamètre réduit 21 de l'unité de transmission 30 de la figure 2. Bien entendu, la réduction de débit dans le tube sera adaptée à la réduction de diamètre qui permet de réduire la longueur développée du dispositif.

Un deuxième mode de réalisation possible de l'élément de conduite 35 comprenant une section de diamètre réduit et deux dérivation est représenté à la Figure 2, par le biais d'un deuxième tube 22 de diamètre réduit d_2 reliant l'autre extrémité du deuxième élément 18 à un troisième élément 19 de tube principal. La longueur équivalente au plan acoustique de cet élément de

conduite est très inférieure à $\lambda/4$, par exemple elle est égale typiquement à 15 % de $\lambda/4$. Par "élément de conduite de longueur équivalente très inférieure à $\lambda/4$ au plan acoustique", on entend dans le cadre de l'invention que l'élément de résonateur est compris entre deux zones de forte impédance et incorpore des sections d'impédance faible mais jamais nulle pour l'onde acoustique privilégiée. Chacune des extrémités des deuxième 18 et troisième 19 éléments de tube principal, sont connectées par l'intermédiaire d'un conduit 36, 37 à une cavité correspondante placée en dérivation 38, 39. Ces cavités 38, 39 et conduits 36, 37 sont différents car il est ainsi permis d'ajuster indépendamment les conditions de fonctionnement (i.e. l'amplitude et la phase entre pression et vitesse acoustique) de chaque unité de régénération 13-16 pour recréer à l'entrée de chacune de ces unités des conditions de fonctionnement qui soient optimales. Avantageusement, ce tube de diamètre réduit 22 permet de créer une zone de faible impédance adimensionnelle sur une longueur de tube faible, ce qui permet ainsi de rendre l'unité de transmission de puissance compacte.

L'autre extrémité du troisième élément 19 de tube principal est reliée par le biais d'une troisième section 23 de tube de diamètre réduit d_3 à une extrémité d'un quatrième élément de tube 20. Cette troisième section 23 de tube de diamètre réduit d_3 et les dérivations associées 28, 29 forment un élément de conduite de longueur équivalente à $\lambda/2$ au plan acoustique.

Le quatrième élément de tube 20 qui achève le tube principal est la partie réfrigérateur du système thermoacoustique. Celle-ci se compose de deux tubes à gaz pulsé à orifice-inertance mis en parallèle [Bretagne et al. ; "Investigations of acoustics and heat transfer characteristics of thermoacoustic driven pulse tube refrigerators", In proceeding of CEC-ICMC'03 - Anchorage]. La mise en parallèle est obtenue par la séparation du tube principale 20 à son autre extrémité en deux éléments de tube secondaire de section réduite. Afin de pouvoir disposer l'ensemble des unités thermoacoustiques étendues dans la direction verticale préférentielle en regard de la gravité, les tubes sont courbés à 180°.

Dans un résonateur acoustique, l'onde acoustique privilégiée peut être soit imposée lorsqu'on utilise une source de puissance acoustique non thermique, soit correspondre à un mode acoustique préférentiel du résonateur. Lorsqu'on utilise une source de puissance acoustique thermique, c'est principalement la forte résistance au passage du fluide imposée par les unités de stack ou de régénérateur qui détermine son mode acoustique de

fonctionnement en imposant la présence de nœuds de vitesse (position où la vitesse s'annule) au voisinage proche des unités de régénérateur. Consécutivement les unités de régénérateur vont imposer la présence de zones de forte impédance. Ainsi le mode acoustique du résonateur est modifié par
5 l'absence ou la présence des deuxième 13 et troisième 14 unités de régénérateur (Figure 2). La présence des ces deux unités de régénérateur a en général pour effet de doubler la pulsation de l'onde acoustique privilégiée.

Il est connu que les conditions acoustiques optimales de fonctionnement d'une unité de régénérateur correspondent à un débit volumique acoustique en
10 avance par rapport à la pression acoustique à l'extrémité à température 'ambiante' de l'unité de régénérateur, et en retard à son autre extrémité. La figure 12A illustre comment varient le débit volumique (première courbe en trait plein et pointillé 40) et la pression acoustique (deuxième courbe en trait continu
15 41) dans une unité de transmission de puissance acoustique comprenant un élément de conduite selon le deuxième mode de réalisation, i.e. ayant une longueur équivalente très inférieure à $\lambda/4$ au plan acoustique.

La Figure 12B explicite en une représentation (diagramme de Fresnel) différente et plus détaillée de l'évolution des phases et amplitudes de la pression et du débit volumique entre les extrémités C et A₂ de l'unité de transmission de
20 puissance acoustique et montre que les conditions assurant le fonctionnement optimal de chacun des unités de régénérateur sont assurées.

Entre C et H l'effet est capacitif au sens acoustique, et le débit volumique varie suivant la première courbe 40, et la pression acoustique est globalement conservée. Une quantité de débit est prélevée dans la première dérivation 42
25 pour amener le débit volumique acoustique à l'entrée de la section de diamètre réduit 43 en avance par rapport à la pression acoustique. Dans la section de diamètre réduit 43, l'effet est inductif au sens acoustique et la pression acoustique varie suivant le deuxième courbe 41 et le débit est conservé. Le débit acoustique étant en avance sur la pression acoustique en H₁, ceci a pour effet
30 d'augmenter l'amplitude de la pression acoustique le long du tube. La seconde dérivation 44 va cette fois restituer du débit et permettre d'ajuster la phase et l'amplitude du débit en A₂.

Les conditions d'entrées favorables à l'extrémité du second régénérateur sont satisfaites, c'est-à-dire que le débit volumique acoustique est en avance sur
35 la pression acoustique en A₂ et que l'amplitude de la pression acoustique en A₂

est supérieure à celle en C, afin de recouvrer une impédance adimensionnelle suffisante. En outre l'invention a pour autre avantage de permettre d'ajuster la phase du débit volumique à l'extrémité (A2) du second régénérateur indépendamment de son amplitude.

5 Dans tous les cas, on privilégiera entre deux unités de régénérateur l'emploi d'un élément de conduite selon le deuxième mode de réalisation, i.e. un élément de conduite de longueur équivalente très inférieure à $\lambda/4$ au plan acoustique, pour autant qu'il soit utilisable de façon satisfaisante. Un cas pénalisant identifié peut être, par exemple, la mise en cascade d'un nombre trop
10 important d'unités de régénérateur.

La présente invention induit de corréler la position des unités thermoacoustiques et des unités de transmission qui sont intercalées entre les unités thermoacoustiques avec la grandeur caractéristique Z du champ acoustique dans le résonateur.

15 On parle de zone de forte impédance adimensionnelle lorsque celle-ci est supérieure d'un ordre de grandeur à 1 et de zone de faible impédance adimensionnelle dans le cas contraire.

Il est connu que les unités de stack et de régénérateur doivent être disposées dans des zones de forte impédance adimensionnelle et on retient
20 typiquement des valeurs proches de 5 pour une unité de stack et de 30 pour une unité de régénérateur.

Une section de résonateur correspondant à une impédance adimensionnelle nulle, peut être identifiée par mesure locale de la pression acoustique et détermination de la section où celle-ci s'annule. Une zone de forte
25 impédance adimensionnelle correspond à la partie de résonateur où la valeur de l'amplitude de pression acoustique en valeur absolue est maximale (Figure 11).

Deux éléments de tube principal peuvent également être reliés non pas par un seul tube de diamètre réduit d mais par une pluralité de tubes de diamètre réduit d_0 ou de diamètres différents d_1, d_2, \dots produisant le même effet au regard
30 de la transmission de puissance (Figure 3).

Le changement de section entre le tube principal et le tube ou section de diamètre réduit peut être aussi bien discontinu que continu. Dans le premier cas, il peut s'agir d'une marche, dans le second, il peut prendre la forme d'un cône.

La Figure 3 montre deux éléments de tube principal 1, 2 comportant respectivement soit une unité de stack 3 et une unité de régénérateur 4, soit
35

deux unités de régénérateur 3, 4. Ces unités thermoacoustiques 3, 4 sont disposées dans des zones de forte impédance adimensionnelle adjacentes, lesquelles sont séparées par une zone de faible impédance adimensionnelle. Les deux éléments de tube principal 1, 2 sont reliés chacun à une de leurs
5 extrémités par une pluralité de tubes 5 de diamètre réduit d' parallèles entre eux et à une dérivation 6, 7 comprenant une cavité reliée 8, 9 à un conduit rectiligne de section circulaire 10, 11. Ce mode de réalisation se révèle avantageux lorsque les puissances acoustiques à transmettre sont très importantes et qu'il est nécessaire de réduire à la fois les vitesses dans chacun des tubes mais
10 aussi les diamètres de chaque tube afin d'éviter les surépaisseurs de paroi importantes qui sont imposées réglementairement en regard de la tenue de l'appareil à la pression maximale de fonctionnement.

Afin de contrôler et de faire varier la partie au moins de débit volumique détournée de l'élément de tube principal vers la cavité dérivée, le conduit
15 menant à la cavité peut comporter un ou plusieurs éléments résistifs placés en série et agissant positivement sur la phase du débit à l'entrée de la dérivation. Ces éléments sont choisis dans le groupe comprenant un diaphragme (Fig. 4), un milieu poreux compressible (Fig. 5) et une vanne résistive (Fig. 6) ou autre.

Avantageusement, le conduit est contrôlé en température que ce soit par
20 chauffage ou refroidissement. Pour cela, on peut, par exemple, disposer la conduite dans un bain thermostaté dont la température est ajustée soit par chauffage dudit bain par une résistance électrique chauffante soit par refroidissement au moyen d'un groupe frigorifique annexe. Des moyens électroniques de contrôle en température ajustent la température en fonction
25 d'une consigne (Fig. 7). Le contrôle de la température du conduit permet de manière avantageuse un réglage non intrusif des caractéristiques acoustiques.

La Figure 8 montre une dérivation comprenant un conduit 45 et une cavité dérivée 46. Cette cavité 46 comporte un élément actif acoustiquement 47, par
30 exemple, une unité de stack ou un haut parleur permettant principalement un réglage actif des caractéristiques acoustiques à l'entrée de la dérivation, mais aussi de contrebalancer les pertes dues à la dissipation, ceci essentiellement dans la dérivation.

Il est connu que l'association d'un volume avec un conduit tel qu'un tube fin permet de créer une cavité résonante facilement réglable et pouvant être

qualifiée au plan acoustique avec une bonne approximation en fonction du volume de la cavité V et de la section A et longueur l du tube fin par le produit :

$$\frac{lV}{ArT} \omega^2,$$

5 où ω désigne la pulsation de l'onde acoustique et T la température moyenne du gaz exprimée en Kelvin. Pour que cette quantité soit représentative, la longueur du conduit fin doit être inférieure à $\lambda/2\pi$ et le diamètre interne d_i de ce conduit doit être tel que $d_i/\delta_v \gg 1$ avec δ_v l'épaisseur de la couche limite visqueuse et où $\delta_v = \sqrt{P_r} \times \delta_k$ où P_r est le nombre de Prandtl.

10 Dans le cas où la longueur de la section de diamètre réduit est équivalente, au plan acoustique, à $\lambda/2$, $\frac{lV}{ArT} \omega^2$ est de préférence supérieur à 5.

Au contraire lorsque cette longueur est très inférieure à $\lambda/4$ au plan acoustique, il est préférable de choisir $\frac{lV}{ArT} \omega^2$ proche de 2 mais non égale ou proche de 1, ceci pour éviter de dissiper l'ensemble de la puissance acoustique du tube principal dans la dérivation.

15 La Figure 9 est une vue en coupe d'un résonateur présentant des dérivations multiples dans une même section selon un mode de réalisation de l'invention. A l'élément de tube principal 48 est connecté quatre dérivations 49-52 comprenant chacune un conduit rectiligne 53-56 et une cavité dérivée 57-60. Pour éviter les vibrations dans la direction transverse à l'axe du tube principal un mode de réalisation préférentiel est de disposer les dérivations 49-52 par paire dans des directions directement opposées.

20 Les domaines d'application des machines thermoacoustiques sont variés et concentrés sur les applications de réfrigération. Les domaines d'application préférentiels des machines thermoacoustiques de réfrigération utilisant comme source d'énergie de la chaleur sont, entre autre, la liquéfaction des gaz industriels ou médicaux et la réfrigération industrielle.

REVENDEICATIONS

1. Unité de transmission de puissance pour systèmes thermoacoustiques comportant au moins un étage, comprenant :

- 5 - au moins deux unités thermoacoustiques, chaque unité thermoacoustique comportant soit un régénérateur et deux échangeurs thermiques, soit un stack et deux échangeurs thermiques,
- 10 - un résonateur acoustique comportant un tube et contenant un fluide et dans lequel s'établit un champ acoustique présentant des zones de forte impédance adimensionnelle et des zones de faible impédance adimensionnelle,
- 10 - certaines unités thermoacoustiques (3, 4, 12-16) étant placées dans des zones de forte impédance adimensionnelle, caractérisée en ce que :
- 15 - chaque zone de forte impédance adimensionnelle comporte au plus une unité thermoacoustique,
- 15 - deux unités thermoacoustiques (3, 4, 12-16) successives étant toujours séparées par une zone de faible impédance adimensionnelle,
- 20 - le résonateur comporte une section de diamètre réduit (5, 21-23) entre chacun des couples d'unités thermoacoustiques successives, et en ce que chaque rétrécissement de section (5, 21-23) est associé à au moins une dérivation (6, 7) comprenant une cavité (8, 9), ladite dérivation (6, 7) permettant de détourner une partie au moins du débit volumique du tube.
- 25 2. Unité de transmission de puissance selon la revendication 1, caractérisée en ce que chaque rétrécissement de section est associé à deux dérivation (6, 7), placées respectivement à chaque extrémité dudit rétrécissement.
- 30 3. Unité de transmission de puissance selon la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce que le rétrécissement de section est continu.
4. Unité de transmission de puissance selon la revendication 3, caractérisée en ce que le rétrécissement de section prend la forme d'un cône.
5. Unité de transmission de puissance selon la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce que le rétrécissement de section est discontinu.
6. Unité de transmission de puissance selon la revendication 5, caractérisée en ce que le rétrécissement de section prend la forme d'une marche.

7. Unité de transmission de puissance selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisée en ce que chaque dérivation (6, 7) comprend un conduit (10, 11) reliant la cavité (8, 9) au tube.

5 8. Unité de transmission de puissance selon la revendication 7, caractérisée en ce que chaque dérivation comporte de plus des moyens de régulation thermique (6, 7) permettant de contrôler le débit dans la dérivation.

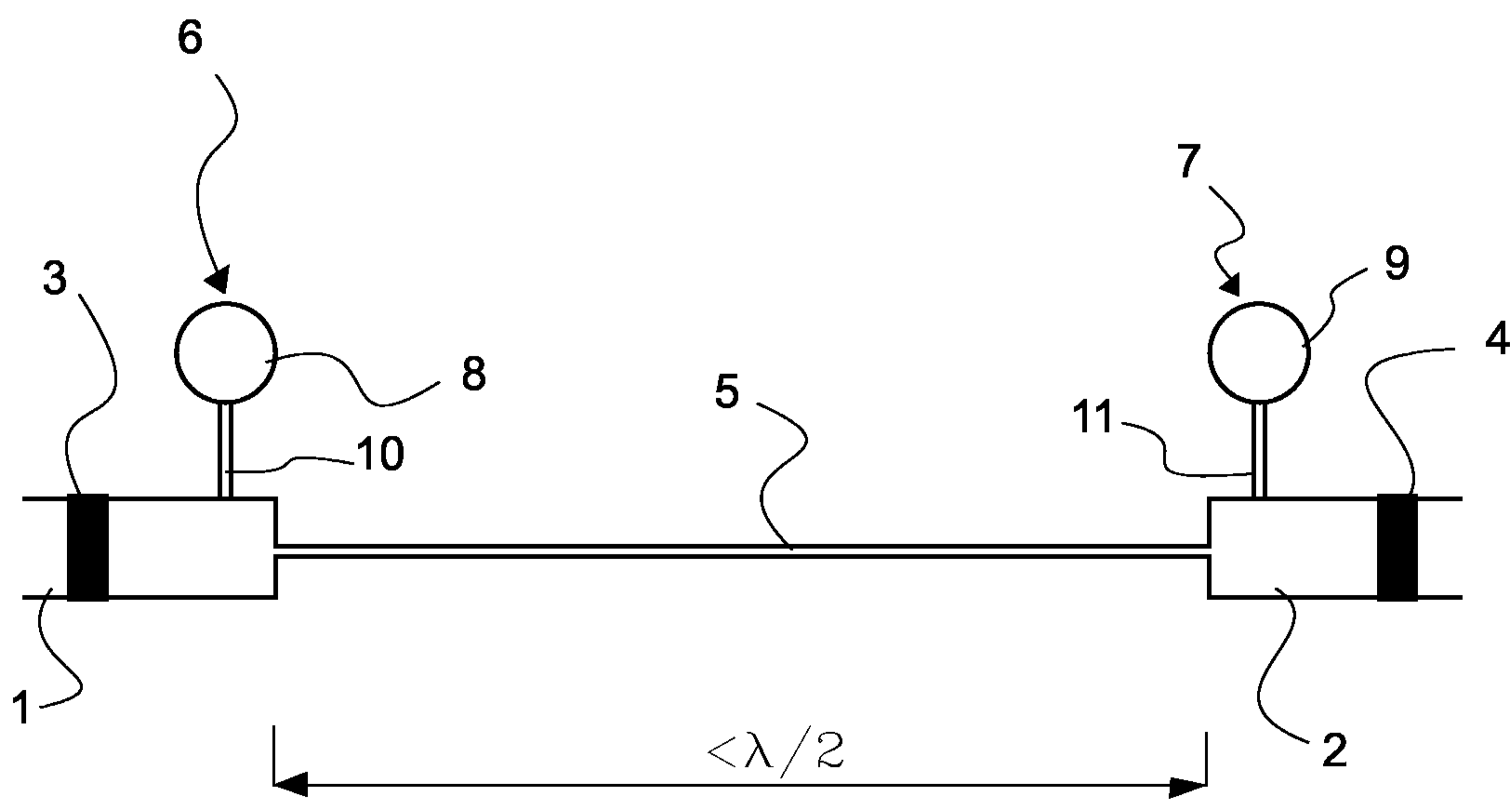
9. Unité de transmission de puissance selon la revendication 7 ou 8, caractérisée en ce que des systèmes résistifs sont associés à l'un au moins des conduits.

10 10. Unité de transmission de puissance selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisée en ce qu'elle comporte au moins un élément actif acoustiquement (47) permettant l'adaptation des conditions de fonctionnement des unités thermoacoustiques (3, 4, 12-16).

15 11. Unité de transmission de puissance selon la revendication 10, caractérisée en ce que ledit élément actif acoustiquement (47) est une unité de stack placée dans la cavité dérivée.

12. Unité de transmission de puissance selon la revendication 10, caractérisée en ce que ledit élément actif acoustiquement (47) est un haut-parleur placé dans la cavité dérivée.

1/8

**FIGURE 1**

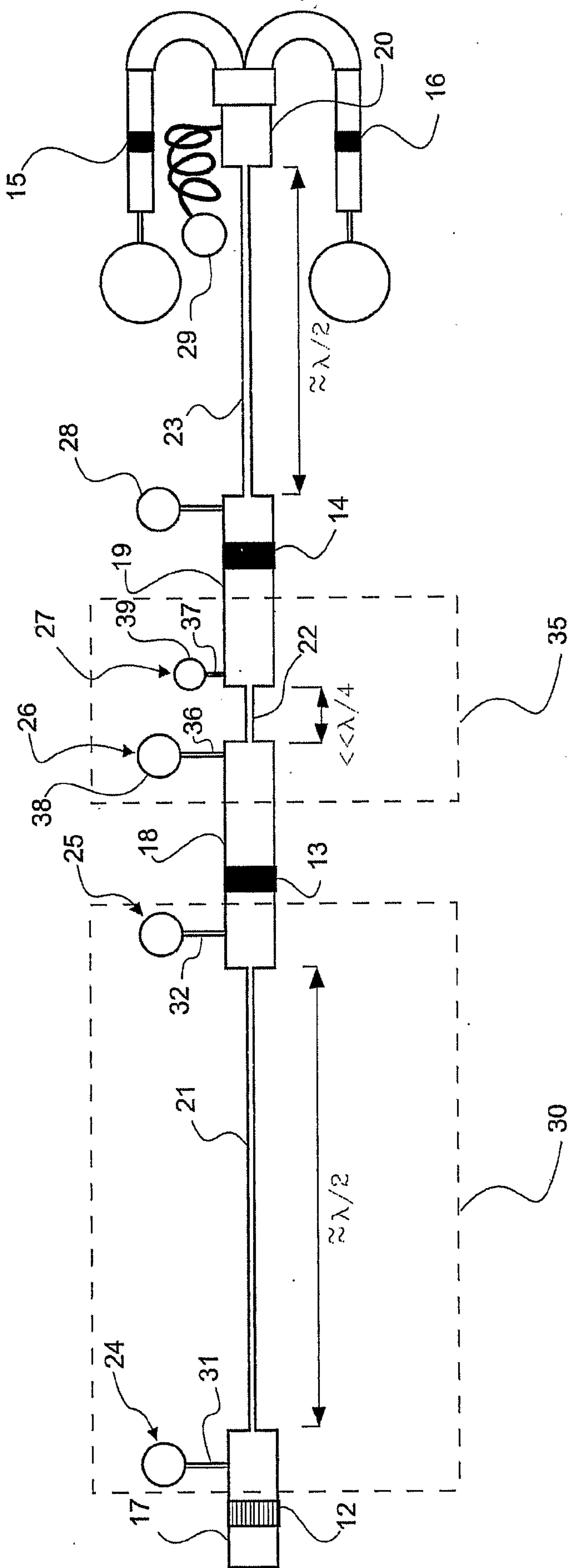


FIGURE 2

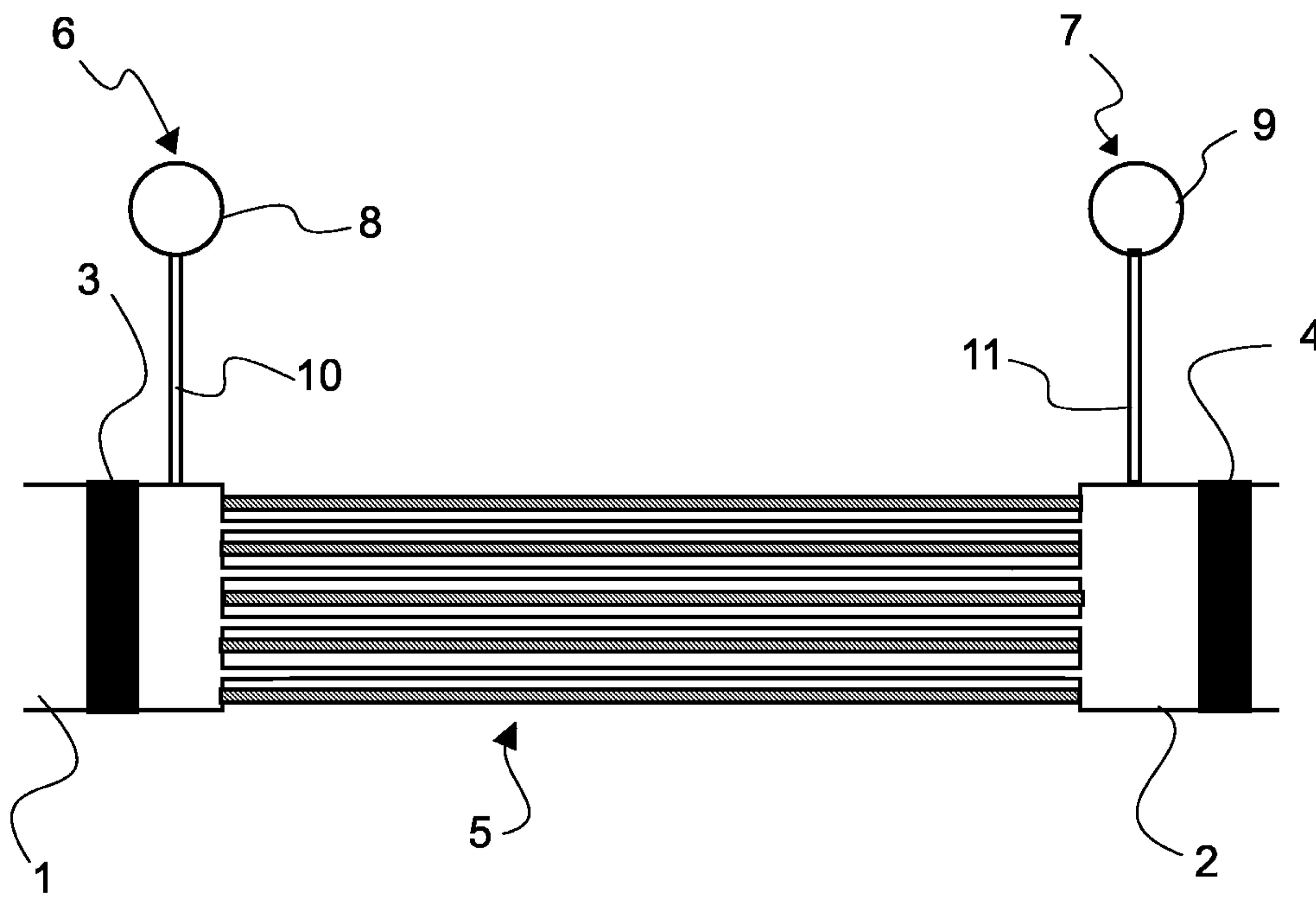


FIGURE 3

4/8

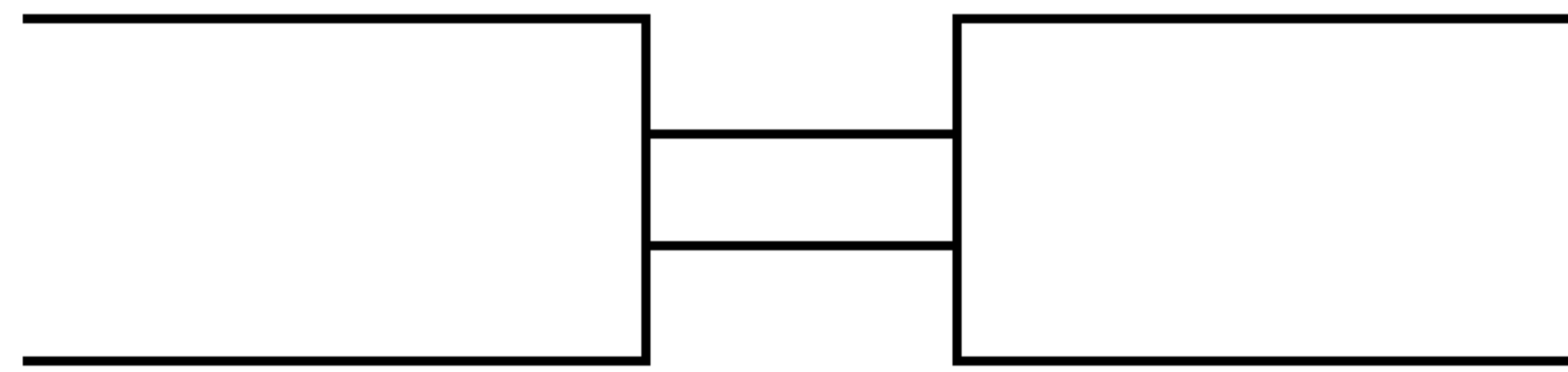


FIGURE 4

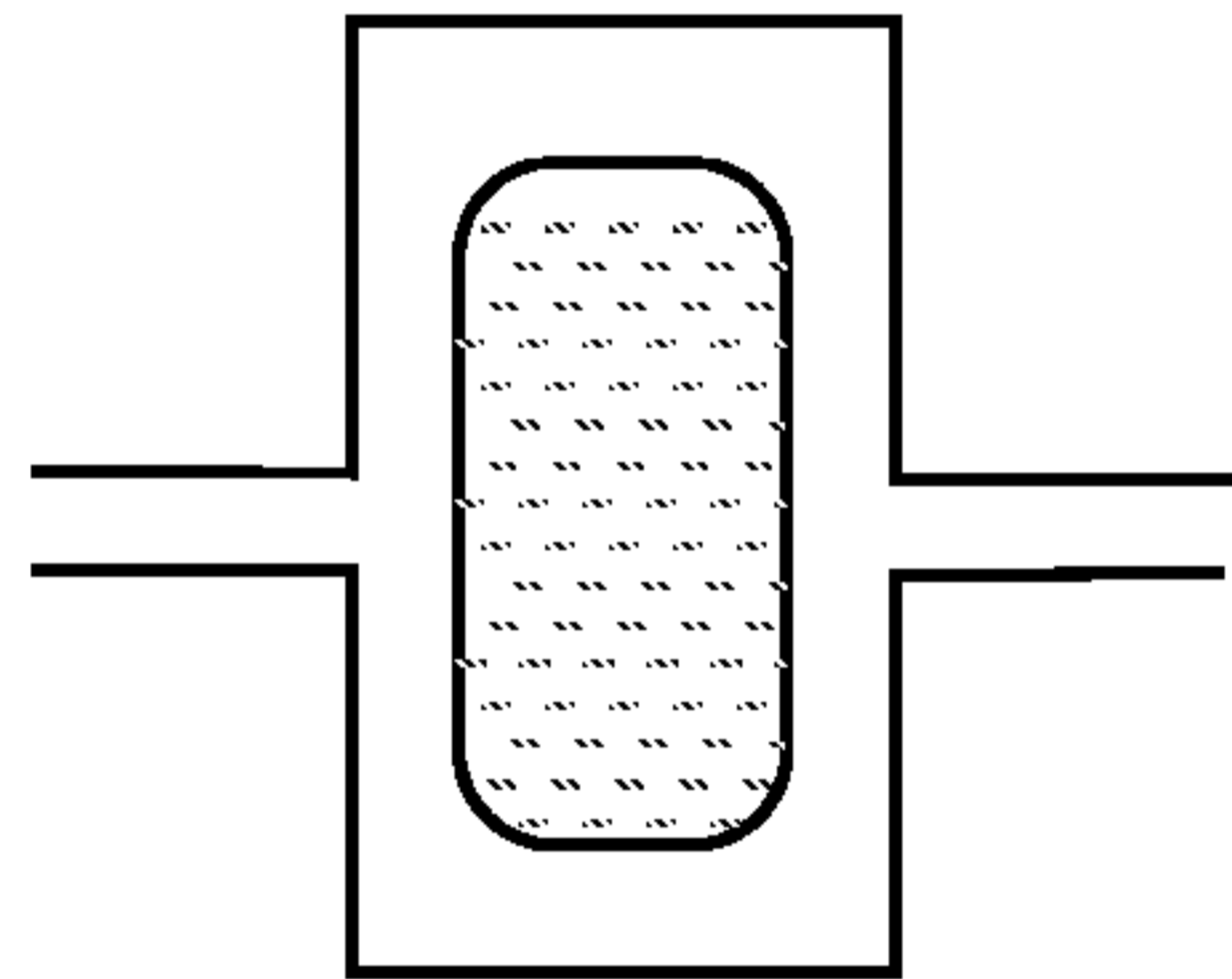


FIGURE 5

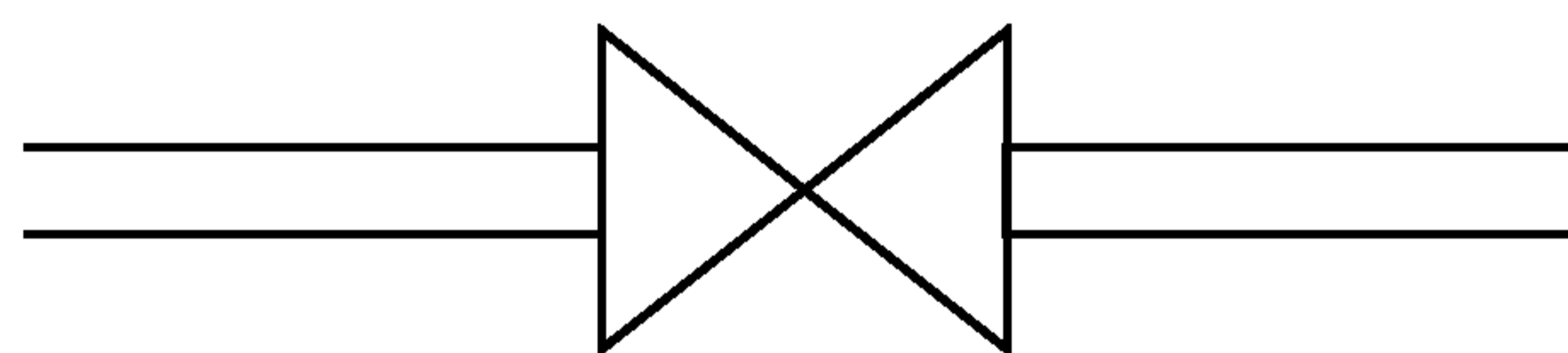


FIGURE 6

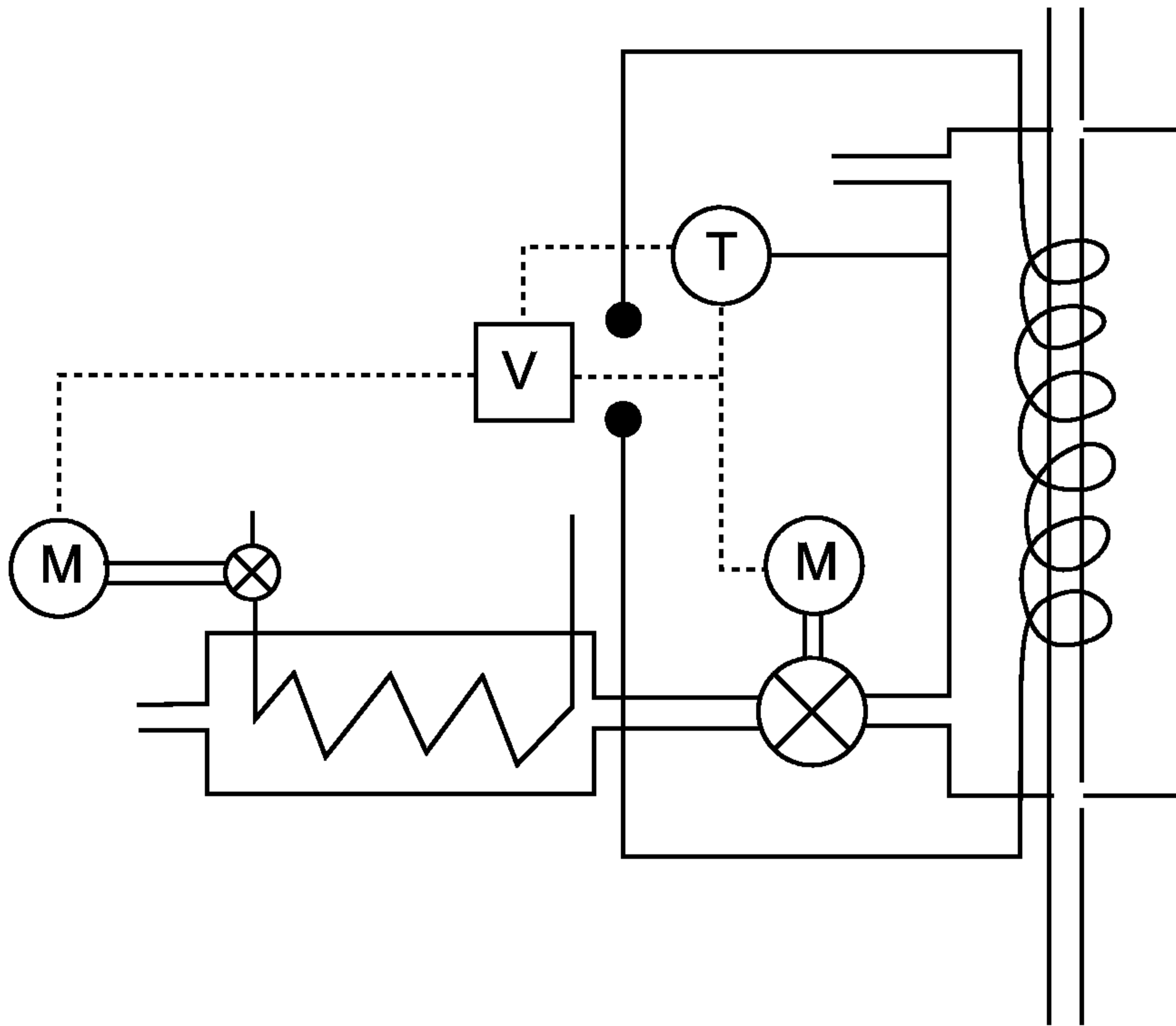


FIGURE 7

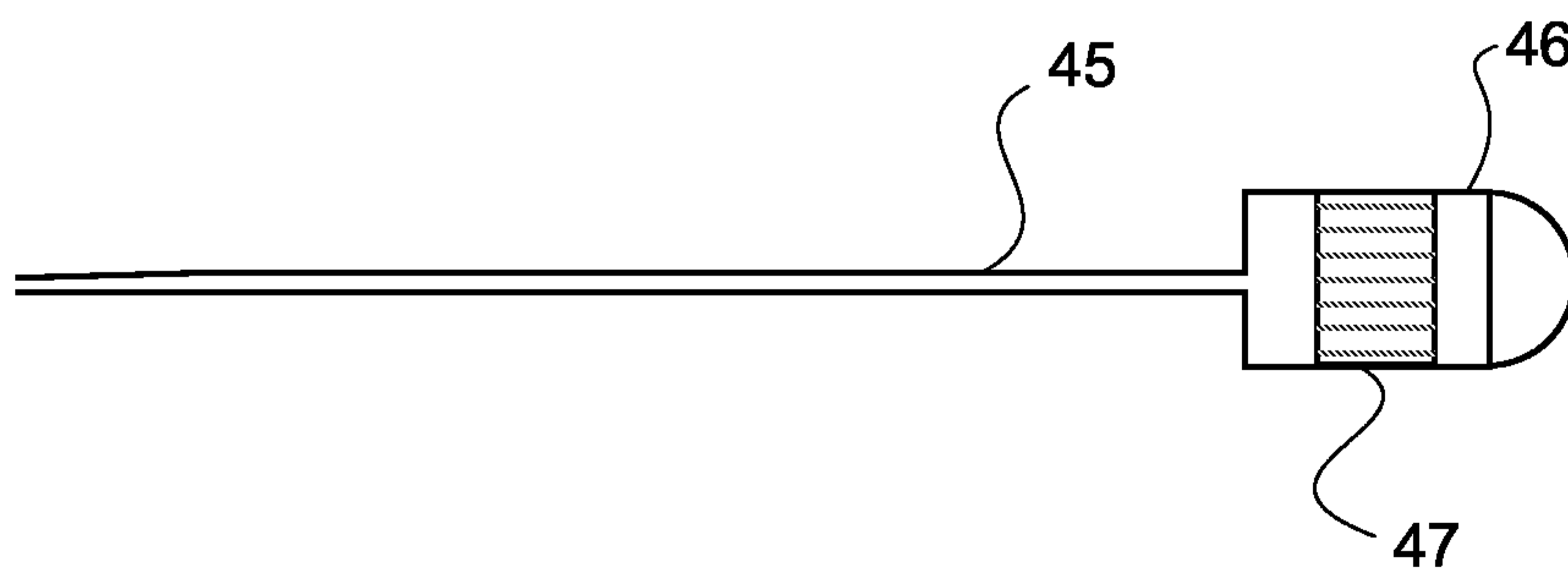


FIGURE 8

6/8

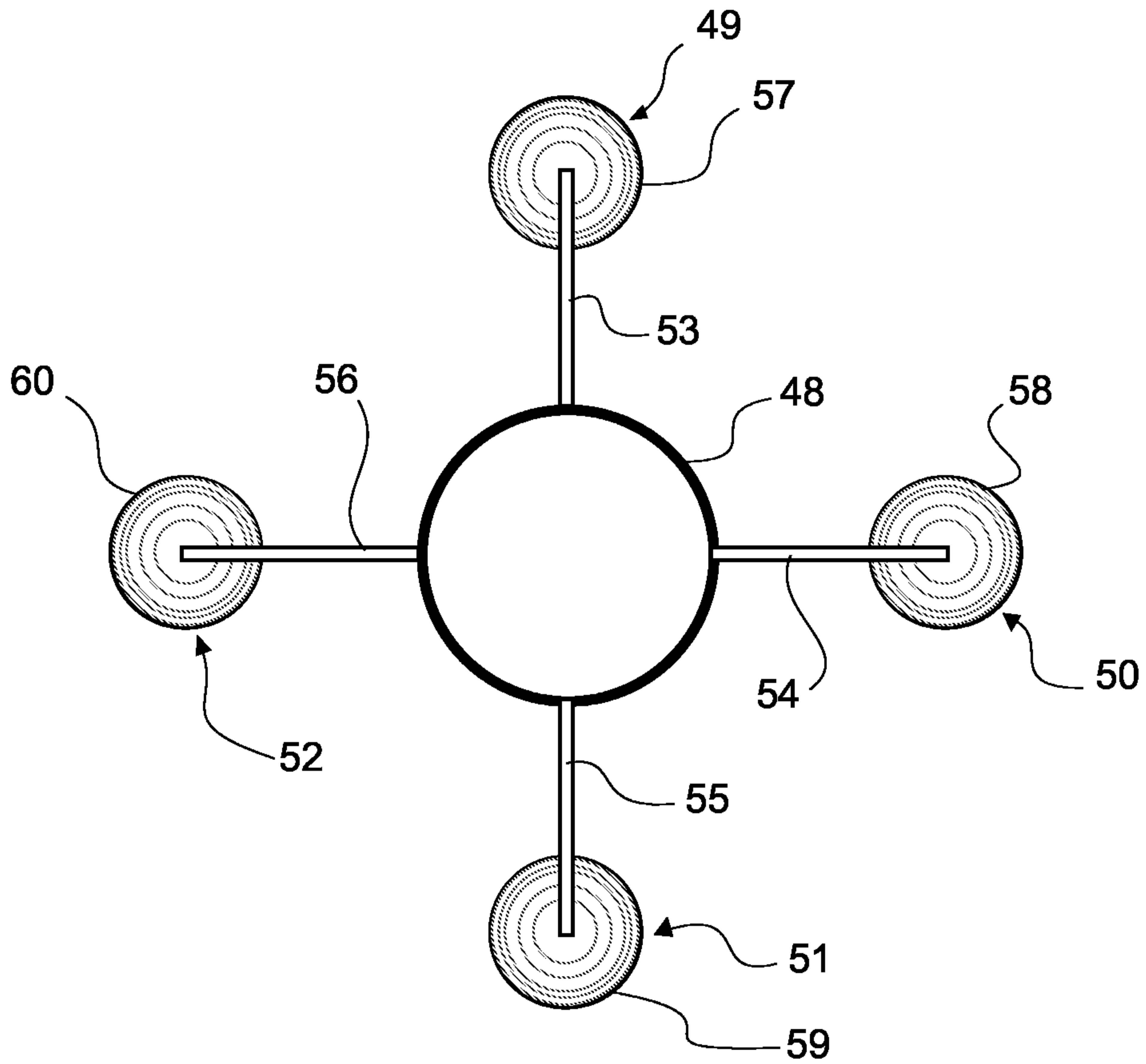


FIGURE 9

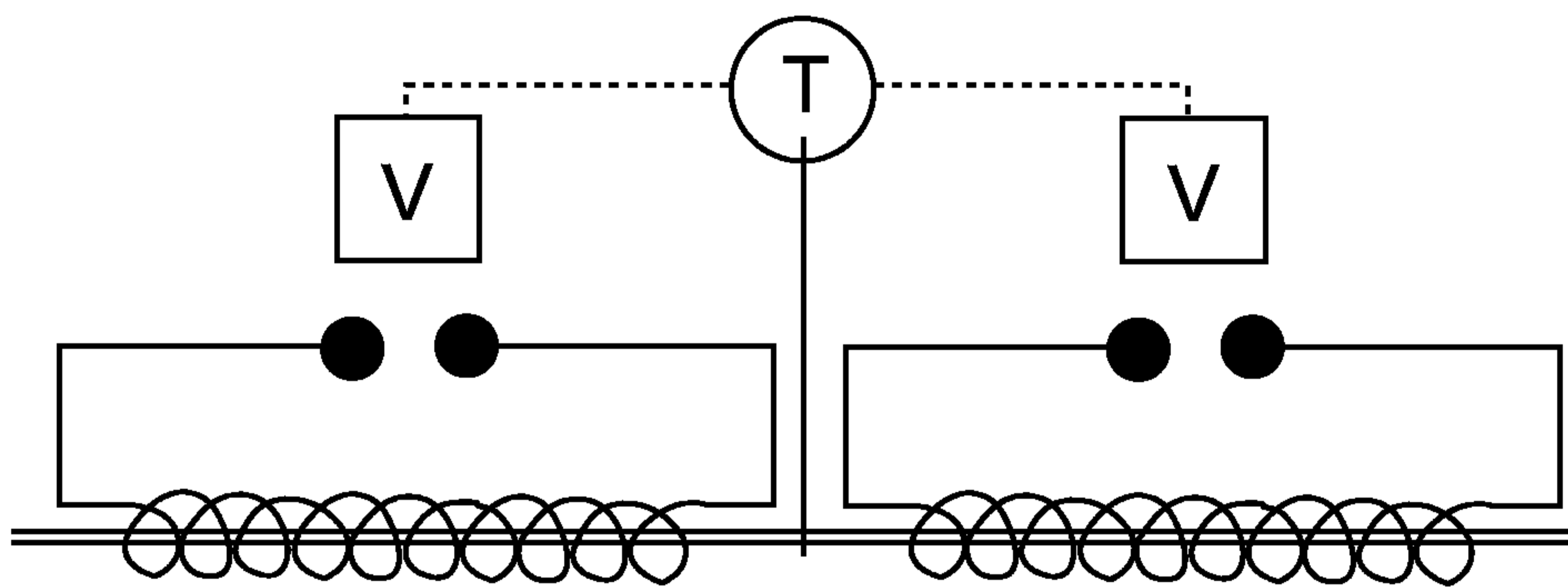
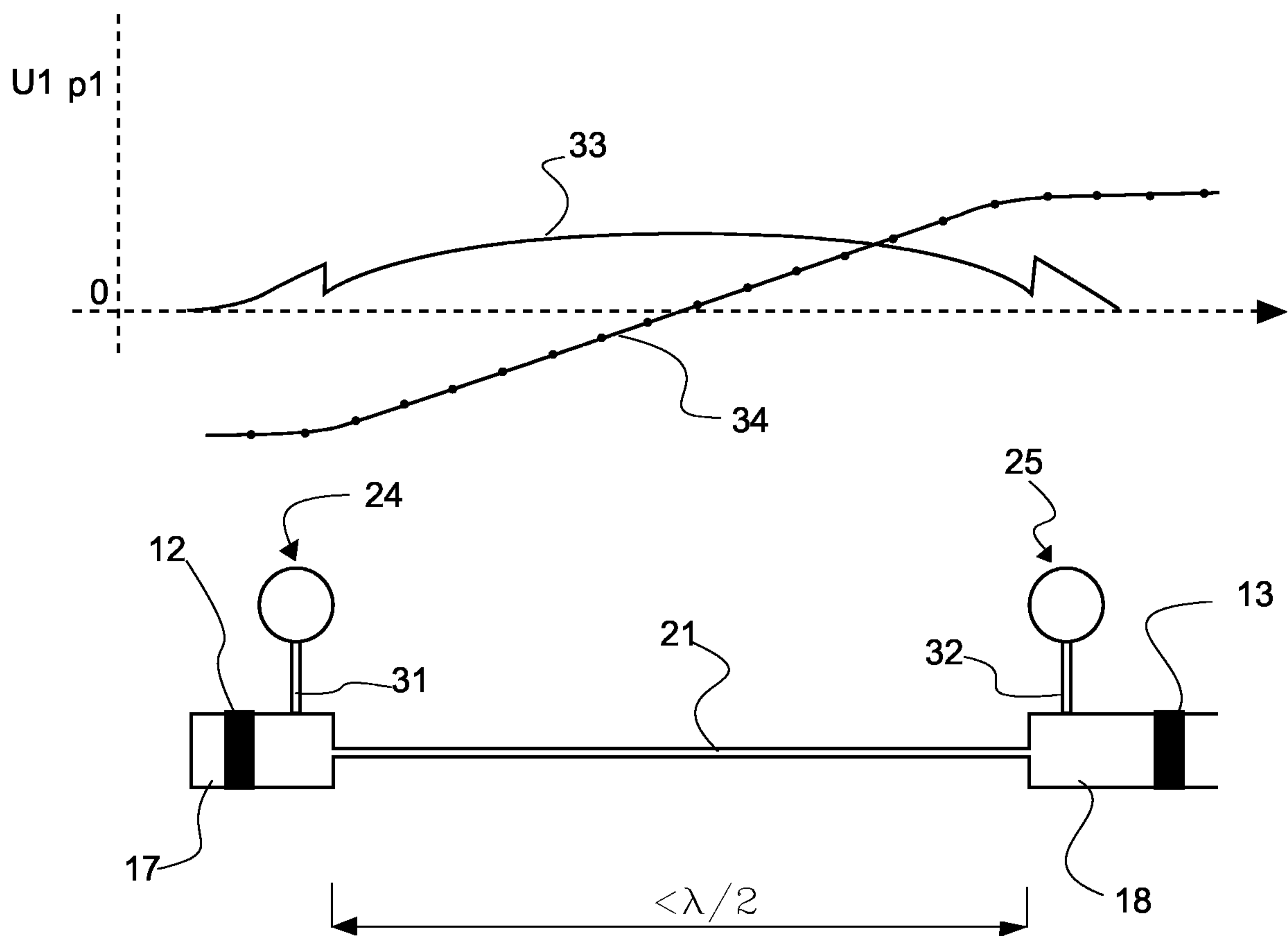


FIGURE 10

7/8

**FIGURE 11**

