

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
F02G 1/043 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200580022252.3

[43] 公开日 2007年6月13日

[11] 公开号 CN 1981127A

[22] 申请日 2005.5.3

[21] 申请号 200580022252.3

[30] 优先权

[32] 2004.5.4 [33] FR [31] 0404773

[86] 国际申请 PCT/FR2005/050299 2005.5.3

[87] 国际公布 WO2005/108768 法 2005.11.17

[85] 进入国家阶段日期 2006.12.30

[71] 申请人 皮埃尔与玛丽·居里大学

地址 法国巴黎

共同申请人 科学研究国家中心

[72] 发明人 E·布列塔尼 M-X·弗朗索瓦

[74] 专利代理机构 北京市中咨律师事务所

代理人 杨晓光 李 峥

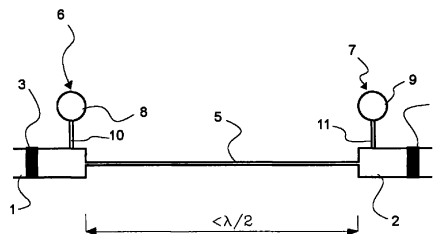
权利要求书 2 页 说明书 14 页 附图 8 页

[54] 发明名称

热声系统的声功率传输单元

[57] 摘要

本发明涉及一种用于包括至少一个分段的热声系统的声功率传输单元，包括：至少两个包括交流换热器或叠层及两个热交换器的热声单元(3、4、12-16)；包括管且包含流体的声谐振器，其中建立了表现空间高阻抗区域和空间低阻抗区域的声场；其中若干热声单元(3、4、12-16)置于空间高阻抗区域。根据本发明，每个空间高阻抗区域还包括热声单元，其中两个连续的热声单元(3、4、12-16)都被空间的低阻抗区域隔开。谐振器包括在每个连续热声单元(3、4、12-16)对之间的直径较小的部分(5、21-23)，且每个较细的部分(5、21-23)都与至少一个包括分支的腔(10、11)的分支(6、7)相连，所述分支(6、7)可以转移最大部分的体积流速。



1. 一种用于包括至少一个分段的热声系统的功率传输单元，包括：
至少两个热声单元，其包括交流换热器或叠层及两个热交换器；
声谐振器，包括管且包含流体，其中建立了表现空间高阻抗区域和空间低阻抗区域的声场；
若干热声单元（3、4、12-16），其被置于空间高阻抗区域中；
其特征在于：
每个所述空间高阻抗区域包括最多一个热声单元；
两个连续的所述热声单元（3、4、12-16）总是被空间低阻抗区域隔开；
所述谐振器在每个连续热声单元对之间包括直径较小的部分（5、21-23），且每个较细的部分（5、21-23）都与至少一个包括腔（8、9）的分支（6、7）相连，所述分支（6、7）使得可以转移管的体积流速的至少部分。
2. 根据权利要求1的功率传输单元，其特征在于，每个较细的部分与两个分支（6、7）相连，所述两个分支（6、7）分别置于所述较细部分的每一端。
3. 根据权利要求1或2的功率传输单元，其特征在于，所述较细的部分是连续的。
4. 根据权利要求3的功率传输单元，其特征在于，所述较细的部分呈锥形。
5. 根据权利要求1或2的功率传输单元，其特征在于，所述较细的部分是不连续的。
6. 根据权利要求5的功率传输单元，其特征在于，所述较细的部分呈阶状。
7. 根据权利要求1到6中任一项的功率传输单元，其特征在于，每个分支（6、7）都包括将所述腔（8、9）连接到所述管的管道（10、11）。

8. 根据权利要求7的功率传输单元,其特征在于,每个分支(6、7)还包括可在所述分支中控制流速的热调节装置。

9. 根据权利要求7或8的功率传输单元,其特征在于,电阻系统与至少一个所述管道相连。

10. 根据权利要求1到9中任一项的功率传输单元,其特征在于,其包括至少一个声作用元件(47),其可以使所述热声单元(3、4、12-16)的运行条件适合。

11. 根据权利要求10的功率传输单元,其特征在于,所述声作用元件(47)为置于所述分支的腔中的叠层单元。

12. 根据权利要求10的功率传输单元,其特征在于,所述声作用元件(47)为置于所述分支的腔中的扩音器。

热声系统的声功率传输单元

技术领域

本发明涉及使用转换热声能量的方法的热机、发动机和制冷机。更具体地说，本发明涉及任何类型的热声设备，包括波形信号发生器和热声制冷机，以及 Stirling 与 Ericsson 设备系列和脉冲气体管系列。

背景技术

任何热机要求至少存在两个不同温度的热源，所述热源一个属于机械功传输系统，另一个属于进行热力循环的能量转换介质。在热声设备中，机械功以声功的形式出现，其通常表示为每单位时间的声功通量或声功率，并对应于由于声体积流速引起的声压的时间均值。

热力循环的概念及能量转换的概念是操作任何热机的基础。在热力发动机中，大量的热被转化为声功，而在制冷机中，消耗大量的功以从所谓的“低”温介质向高温介质传送热。热机的功率直接与热力循环的“开度”，即，由该循环形成的区域关联。在多数非声设备中，例如，根据 Rankine 的热力循环的家用制冷机运行，实现热力循环的转换介质为流体。该流体被称为“制冷剂”，并通过它在其中蒸发和冷凝的闭路循环。

在热声设备中，转换介质通常为气体，最常见的为氦，热力循环由声波以对应于振荡流颗粒位移稍小的量实现。这是所有局部热力循环的协作，确切地说，通过声波自然地同步的协作，这使得发动机（还称为波形信号发生器）或热声制冷机在全局范围进行能量转换。

在热声系统中，热力循环仅发生在接触区域，或声热边界层，其位于受到声波的压缩-松弛相的流体与实现热力循环的“开度”必需的热源的固体介质之间。由于伴随任意声传播的温度振荡，边界层的这种流体-固

体交互作用通过热交换在流体和固体之间转换。这种固体 - 流体交互作用考验流体的伸延性。

在热声系统中，根据声场的类型，所完成的局部热力循环可以类似于 Brayton 循环甚或 Ericsson 与 Stirling 循环。

当声波更类似于驻波时，即，声压和颗粒位移之间的相移接近 180° ，获得第一运行类型，即所谓的“Brayton”循环，而当声波是渐变的时，即，声压和颗粒位移之间的相移接近 90° ，获得第二运行类型，即所谓的“Ericsson 或 Stirling”类型。

局部热力循环的实现要求在时间上不断地进行热力转换。那么，热贡献就是热声波生成器的流体在声压最大时执行局部热膨胀而在声压最小时执行局部热收缩。

热膨胀会在流体接收热的情况下发生，反之亦然。

热力转换的同步由声波实现，它可以实现在流体的压缩 - 松弛相和延伸 - 收缩相的偏移之间协调。

固体介质表现为稠密或稀疏的阵列，其较均匀以使声波得以很好地传播，因为通常的尺寸比相应的声场的波长小得多。

该固体介质由一组平行放置的孔或通道组成，使得流体从阵列的一端流向另一端。这些通道可以为各种形状，其不必相同。

流体在该作用的固体阵列中振荡，所述阵列必须具有不同方面的特征 δ_k/R_h 以实现之前说明的两种运行类型。

δ_k 指定热边界层的厚度，并由 $\delta_k = \sqrt{\frac{2k}{\omega}}$ 定义，其中 k 是该流体在平均温度下的热扩散率，而 ω 是声波的脉冲频率。 R_h 指固体阵列在多孔介质情况下的液压半径。

所以，在第一个所谓的“Brayton”运行类型中， δ_k 是 R_h 的幂，而固体阵列通常被称为“叠层”。在第二个所谓的“Ericsson 或 Stirling”运行类型中， δ_k 比 R_h 大得多，而固体阵列则被称为“交流换热器”，参考 Stirling 交流换热设备。

而在交流换热器中，在固体元件和气体之间建立了良好的热接触，相反，在叠层中这种接触并不好。

在交流换热器的情况下，声压和声速之间的相移接近于 0 或出现了没有相移的区域。相反，在叠层的情况下，该相移总是很高并接近 90° 。

交流换热器和叠层一样，都进行恒温散布，尽管流体由于其被置于两个热“源”之间而有振荡偏移。因此，建立了显示两个外部热源的温度热源的中间温度的热源的空间散布。

叠层与交流换热器的适当运行要求它们都置于两个温度恒定而不同的热交换器之间，以便建立热机。于是，使用“叠层单元”或“交流换热器单元”的术语来指定置于两个热交换器之间的叠层或交流换热器。

交流换热器和叠层中的温度散布在发动机类型的运行中通过向交流换热器单元或叠层单元的中的一个热交换器中供热来实行。可以从电、核能或太阳能、通过燃烧或利用任何处于适当温度的热废弃物来获取热量供应。

在温度散布中连续的局部的温度梯度，实现了热能向声能的转化，以及高声功率声波的生成。

在制冷机类型运行中，制冷机中的温度散布由声波生成。

可以在发动机类型的运行中使用叠层单元以生成热声机中的热声功率，并产生和声机械发动机相同的效果，但是具有不包含任何机械作用部件的优势。同样在发动机类型的运行中，可以使用交流换热器单元来放大由发动机或声谐振器中的叠层生成的声功率流。理想情况下，交流换热器中的声功率的放大比率等于热交换器的温度比，其中将热量添加到所述热交换器，其中获取未转化的热量，温度由绝对温度表示。在交流换热器中，声功率流的放大方向沿对应于正温度梯度的方向。

在制冷机型的运行中，会适度使用叠层单元和交流换热器单元以使从介质中获取的热量冷却。该热量会传输到处于更高温度的热交换器以排出。会不定地选择最高的温度，它表现了与许多冷却技术相关的优势，例如，冷凝-汽化冷却。因此，不必接近 293K，可以是诸如小于 200K 以用于低温应用或大于 500K 以用于高温环境下的应用。

选择叠层单元或交流换热器单元形式的冷却单元直接影像该单元的性能系数，还称为能量转化系数，它的定义为获得的热量和消耗的声功量的比率，和热换热器在最低温度和最高温度之间的温差。

因此，根据 Brayton 和 Ericsson（或 Stirling）循环的理论通过量，叠层单元通常不能获取和交流换热器单元同样高的性能系数。此外，交流换热器通常比叠层单元更适合高的温差。

“交流换热器单元”的增设形式，即“增设的交流换热器单元”还指和添加管状部分的换热器及第三热交换器关联的交流换热器。管状部分构成了大量使得声功率放大单元中的最热的换热器或冷却单元中的最冷的换热器热隔离的缓冲气体。置于一端的第三交换器帮助控制管状部分中的温度散布。在该特定实施例及用作冷却单元的应用中，冷却单元被称作“脉冲气体管状单元”。出于重力引起的自然对流作用有关的稳定性原因，冷却单元优选垂直延伸，在第二和第三交换器中处于最高温度的交换器会置于最高的高度。

热声机则由置于声谐振器中的作用热声单元组成。除了其他作用以外，该谐振器还用作波导。它可以在其谐振频率或非谐振频率下使用。例如，在由扩音器组成的声能源的例子中，可以优选不同于谐振频率的运行频率。当声机包括声波发生器的情况下，谐振器的几何结构会严格将装置的运行频率 $f_{\text{运行}}$ 控制在正常状态。

在热声机中，将阻抗 Z 定义为声压 P_1 和声速 u_1 的比率。这两个参数的任何一个都可以局部地测量，于是，可以从任一点得出阻抗 Z 。每个参数的下标 1 指定其为第一阶无穷小的声量级。

空间阻抗是比值 $|Z|/\rho c$ ，其中 ρ 是谐振器中包含的流体的体积质量，而 c 是声在该流体中的速度， $|Z|$ 是 Z 的模数。

已知热声单元仅在流体颗粒的位移幅度适度地小而声压的幅度很大的区域中正确地运行。

这等于将热声单元放置于空间的高阻抗区域中。

发明内容

本发明的目的是能够在热力方面改善热声设备的全局性能。更具体地说，本发明专注于实现将一个或多个脉冲气体管状部分与由叠层单元和交流换热器单元组成的热声波生成器相连的热声设备。

在包括多于一个热声单元的热声设备中，两个叠层单元、交流换热器单元或脉冲气体管状单元之间的声功率传输显然应该最大，以便保存设备的极大的能量效率。

因此，已知两种可能的配置用于在声谐振器中放置两个热声单元。这些热声单元可以如此放置：

- 连续并尽可能地接近，这必然导致两个单元之间的整体声功率传输。例如，第一配置为将这些单元在同一空间高阻抗区域中放置为级联状。

- 或者在不同的空间高阻抗区域，这些区域的每一个都被空间的低阻抗区域隔离。例如，第二配置为根据声波在两个单元之间放置长度接近 $\frac{\lambda}{2}$ 的管，波长 λ 为 $\lambda = \frac{c}{f_{\text{运行}}}$ ，其中 $f_{\text{运行}}$ 为热声机的运行频率。但是，该第二配置不可避免地导致两个单元之间更大的声功率损耗。这些损耗基本上与空间低阻抗区域的声涡旋的形成相关，上述区域基本是具有高声速的区域。

因此，第一配置看起来较优选。然而，考虑到热声单元的材料空间要求，在具有多于3个热声单元的同一空间高阻抗区域中可能不能完全满足它们中每一个的最佳操作。那么，就有必要使用同一空间高阻抗区域的增设装置（Swift等，US 6,658,862）。但是，该增设装置不可避免地消耗较高的声功率。

此外，该第一配置表现了少量的独立设定参数，这导致，级联的单个元件的错误运行可能对组件的运行相当有害。

显然，同一空间高阻抗区域中的热声单元的必要协作及其调整会在热声单元的数目增加时变得越来越复杂。此外，在同一空间高阻抗区域中集聚热声单元的其他障碍是很难保证这样的系统在多变的条件下运行时的稳定性（例如，在昼夜温差大的地区）。

因此，本发明的目的就是提供设计简单且运行模式简单的装置，以实现每个叠层单元或交流换热器单元之间，或脉冲气体管状部分中的大量声功率传输，而通过粘性下沉机制或通过在不降低单个性能的情况下将数个连续的单元组合到减少的空间中来限制能耗。

因此，根据本发明，可以注意到可以将每个热声单元放置于空间高阻抗区域并可以将多个单元放置于不同的空间高阻抗区域中，这些区域的每一个都被空间低阻抗区域所隔离。

本发明的另一个目的是可使声参数的建立符合每个热声单元的优化运行，这本质上独立于相邻的热声单元的运行。由本发明提出的调整和控制方案在组合所述单元时特别有利。

因此，本发明可以有利地降低这种设备的大小以及其空间要求。

从这个观点上，本发明涉及用于包括至少一段的热声系统的功率传输单元，其包括：

- 至少两个包括交流换热器或叠层及两个热交换器的热声单元；
- 包括管且包含流体的声谐振器，其中建立了表现空间高阻抗区域和空间低阻抗区域的声场；
- 放置于空间高阻抗区域的若干热声单元。

根据本发明：

- 每个空间高阻抗区域包括最多一个热声单元；
- 两个连续的热声单元，其总是被空间的低阻抗区域隔开；
- 谐振器包括在两个连续热声单元的每个之间的直径较小的部分，且每一个较细的部分都与至少一个包括腔的分支相连，所述分支可以转移管的至少部分体积流速。

“较细的部分”指其直径相对于空间高阻抗区域的最大管道直径减少的区域。

在不同的实施例中，本发明还涉及以下应该被单独或在其所有技术可能组合中考虑的特征：

- 每个较细的部分与两个分支相连，分别置于较细部分的每一端；

- 较细的部分为连续的

“连续”意为与步骤所示出的“非连续”变化相反的渐进的无跳跃的变化。;

- 较细的部分呈锥形;

- 较细的部分非连续;

- 较细的部分呈阶状;

- 每个分支都包括将腔连接到管子的管道;

- 每个分支还包括可在分支中控制流速的热调节方法;

- 电阻系统与这些管道中的至少一个相连;

- 它包括至少一个可适应热声单元的运行条件的声作用元件;

- 声作用元件为置于分支的腔中的叠层单元;

- 声作用元件为置于分支的腔中的扩音器。

附图说明

在不同的可能的实施例中，通过参考附图更为详细地说明了本发明，其中：

图 1 是根据本发明的第一实施例的热声系统的功率传输单元的示意图；

图 2 是根据本发明的第二实施例的热声系统的功率传输和放大单元的示意图；

图 3 是根据本发明的第三实施例的热声系统的功率传输的示意图；

图 4 是根据第一实施例的导向分支的腔的管道的示意图；

图 5 是根据第二实施例的导向分支的腔的管道的示意图；

图 6 是根据第三实施例的导向分支的腔的管道的示意图；

图 7 是根据第四实施例的具有温度控制装置的导向分支的腔的管道的示意图；

图 8 是根据第五实施例的导向分支的腔的管道的示意图，所述腔包括声作用元件；

图 9 是根据特定实施例的呈现多个分支的谐振器的截面图；

图 10 是根据本发明的实施例的具有温度控制装置的直径较小的管状部分的示意图；

图 11 是图 2 的传输单元中第一直径较小的管状部分的体积流速和声压的变化示意图；

图 12A 是图 2 的传输单元的第二直径较小的管状部分的体积流速和声压的变化示意图，而图 12B 是图 2 的传输单元的第二直径较小的管状部分的体积流速相的幅度和声压的幅度的变化示意图。

具体实施方式

通常，热声系统的功率传输单元是包括任何几何形状、基本为均匀直径 D 的主管的声谐振器。这个谐振器和装置的其他元件一起限定了系统的频率和相应的波长。

主管包括根据本发明的由直径 d 较小的管状部分 5 连接的第一元件 1 和第二元件 2。由直径较小的所述管状部分 5 连接的第一和第二元件 1、2 的端部每个包括分支的腔或分支 6、7。每个分支 6、7 包括代表连接到管道 10、11 的闭合体的腔 8、9，其作用于主管的声特性，特别是声体积流速（图 1）。

谐振器中设置有热声单元 3、4，在空间高阻抗区域中，两个连续的空间高阻抗区域被低阻抗区域分开。

已知分支 6、7 可以修改声参数，特别是直径 5 较小的管状部分的输入（或输出）处的体积流速。

因此，本发明可以在保持系统的减少空间要求的同时获取热声单元 3、4 之间的声功率的最佳传输。

如果流速的值非常高，很难满足根据上述条件，则可以将数个分支 6、7 平行放置以分配初始流速（图 9）。

此外，直径 5 较小的部分可以包括连续减少和增加的直径。

可以在作用于本地温度梯度时控制直径较小的部分中的流速变化（图

10)。

已知交流换热器单元比叠层单元具有更好的能量转化量，因此，推荐尽可能多地使用交流换热器单元来组成热声设备。但是，交流换热器单元要求在“室内”温度的其一端（即，在向外散热的一端）引入声功率，其除了任何例如作为叠层单元的声功率源以外，不能单独用于热声设备的组合中。

在本发明中，优选的实施例包括级联单元，以便形成设备并因此大大放大最初由小的叠层单元或机械声源创建的小功率。因此，相比于交流换热器，叠层的低效率在总效率中可以忽略，尤其是因为在单元之间的传输中减少的功率量较低。

图2示出了本发明的第二实施例中热声系统的这种功率传输和放大单元。谐振器包括可产生声功率的叠层单元12，所述声功率由级联的交流换热器13-14放大、并由“脉冲气体管”单元15-16使用。这些热声单元12-16每个置于谐振器中的空间高阻抗区中，并通过空间低阻抗区域从相邻的单元隔开。谐振器因此包括一组4个直径为 D_j 的主管元件17-20，其中 j 等于1到4，其通过直径较小的段或管21-23彼此相连，所述管21-23可以具有不同的长度。在每个主管的直径 D_j （其中 j 等于1到4）中，声波的通过截面相同。实际上，谐振器的直径可以更大，以便限制热隔离（陶瓷纤维），实际的通过直径可以对应于同轴管的内部直径，所述同轴管的厚度较小以限制热传导效果。

直径较小的部分21-23可以在空间低阻抗区域最佳地传输声功率，这时主管元件17-20的声体积流速的至少一部分之前已经“转移”到设置为分支24-29的腔中。因此，可以了解被设置为分支24-29的腔邻近每个截面改变区。

在包括直径较小的管状部分21和两个分支24、25的管道元件30的第一实施例中，在声的情况下所述元件表现了等于 $\lambda/2$ 的长度，其中 λ 优选指声波的波长。“在声的情况下长度等于 $\lambda/2$ 的管道元件”指在两个空间高阻抗区域范围之间结合优选对于声波为零阻抗的部分的谐振器元件。

谐振器包括第一元件 17 和第二元件 18，其由直径 d 较小的第一管状部分 21 将其端部相连（图 2）。为了避免由空间低阻抗区域（其通常是具有高声速的区域）中的声涡旋导致声功率损失，第一元件 17 和第二元件 18 的端部包括其中包含管道 31、32 的分支的腔 24、25。因此，通过分出在分支的腔 24、25 中的主管 17、18 中的容积声速的至少一部分，该装置可以保留数值大大小于会出现声涡旋现象的临界数值的 Reynolds $Re_{\text{临界}}$ 的 Reynolds Re 。这同时能够降低线性能量减少，保持系统的层状声行为，以及优选线性造型。

已知谐振管中的涡旋效应可以带来非常大的损耗，在声情况下等于 $\lambda/2$ 的长度上达到总损耗的 90%。

还已知 Reynolds 的声数定义为 $Re = \frac{u_1 d}{A\nu}$ ，其中 d 为长度较大的管的直径， ν 是流体的运动粘度， A 是管状部分的表面积。Reynolds 的临界声数 $Re_{\text{临界}}$ 通常具有范围在 10^5 到 10^6 之间的值[S.M.Hino 等人; Journal of Fluid Mechanics 75 (1976) 193-207]。

直径较小对声涡旋的消散具有负面影响，除了在本发明的情况下体积流速 U_1 在管的入口处降低。图 11 示出了减小的管 21 中体积流速的典型变化及分支的腔 24、25 对管中流速的降低的影响。第一曲线 33（实线）示出了体积流速的变化，第二曲线 34（连线和点）示出了图 2 传输单元 30 的直径较小的管状部分 21 的声压的变化。显然，管中流速的减少将适应可以降低装置的延伸长度的直径的降低。

图 2 中示出管道元件 35 的第二可能实施例，其包括直径较小的部分和两个分支，通过直径 d_2 较小的第二管 22 将第二元件 18 的另一端连接到第三主管元件 19。管道元件的长度值在声的情况下远小于 $\lambda/4$ ，例如，它通常等于 $\lambda/4$ 的 15%。“管道元件的长度值在声的情况下远小于 $\lambda/4$ ”是指在本发明的框架中，谐振器元件的范围在两个高阻抗区域之间，并结合低阻抗部分，但所述低阻抗部分对于优选的声波不是零阻抗。第二 18 和第三主管元件 19 的每一端都通过管道 36、37 连接到放置为分支 38、39 的相应腔。这些腔 38、39 和管道 36、37 不同，因为允许单独调整每个交流换热

单元 13-16 的运行条件（即，振幅和压力与声速之间的相），以便在这些单元的每一个的入口处重新创建最为理想的运行条件。该直径较小的管 22 使得可以在短管长度上创建空间低阻抗区域，它可以使得功率传输单元紧凑。

第三主管元件 19 的另一端通过直径 d_3 较小的第三管状部分 23 连接到第四管状部分 20 的一端。直径 d_3 较小的第三管状部分 23 和关联的分支 28、29 在声平面上形成长度等于 $\lambda/2$ 的管道元件。

完成主管的第四管状元件 20 为热声系统的制冷部分。所述部分由平行放置的两个孔-惯性脉冲气体管组成[Bretagne 等人；“Investigations of acoustics and heat transfer characteristics of thermo-acoustic driven pulse tube refrigerators”, proceeding of CEC-ICMC'03 – Anchorage]。平行放置可以通过将主管 20 在另一端分为两个截面减小的次级管状元件来实现。为了能够使热声单元组沿着重力相关的优选的垂直方向延伸，将管弯曲 180°。

在声谐振器中，可以在使用非热声功率源时使用优选的声波，或对应谐振器的优选声模式。在使用热声功率源时，主要是叠层单元或交流换热器单元施加的对流体通过的高阻性通过在紧邻交流换热器单元处施加速度节点（速度为 0 的位置）决定了其声运行模式。由此，交流换热器单元将施加高阻抗区域的存在。因此，第二 13 和第三交流换热器单元 14 的存在与否调节谐振器的声模式（图 2）。这两个交流换热器单元的存在通常可以使优选的声波的脉冲增加一倍。

已知交流换热器单元的最佳声运行条件在交流换热器单元的“室内”温度端对应超前于声压的声体积流速，并在另一端延迟。图 12A 示出了声功率传输中体积流速（第一曲线实线及点线 40）和声压（第二曲线连线 41）的变化，其中声功率传输单元包括根据第二实施例的管道元件，即，具有在声的情况下远小于 $\lambda/4$ 的长度值。

图 12B 说明了声功率传输单元的端 C 和 A_2 之间的压力和体积流速的相和振幅的变化的不同且更为详细的示例（菲涅尔图），并示出满足了可

以确保每个交流换热器单元的最佳运行的条件。

C 和 H 之间的影响在声的情况下是电容性的，体积流速根据第一曲线 40 变化，且整体保持声压。在第一分支 42 中取样了大量流速以提前获得在直径较小的部分 43 的入口处的有关声压的声体积流速。在直径较小的部分 43 中，影响在声的情况下是感应的，声压根据第二曲线 41 变化，保持流速。声流速超前于 H_1 处的声压，这导致沿着管增加声压的振幅。第二分支 44 此时将重新存储流速并可以在 A2 调整流速的相和振幅。

满足了在第二交流换热器的端部的优选输入条件，即，声体积流速超前于在 A2 的声压，而在 A2 的声压的振幅大于在 C 的振幅，以便恢复充足的空间阻抗。此外，本发明可以有利地独立于其振幅地调整第二交流换热器的端部 (A2) 的体积流速的相。

在所有情况下，在两个交流换热器单元之间，将优选根据第二实施例使用管道元件，即，管道元件的长度值在声的情况下远小于 $\lambda/4$ ，这使得其可以满意地使用。一种已识别的有害情况是，例如，级联过多的交流换热器单元。

本发明涉及将热声单元的位置和在热声单元之间交错的传输单元的位置与谐振器中声场的特征量 Z 相关。

空间高阻抗区域指大于数量级 1 的区域，而空间低阻抗区域则相反。

已知应该将叠层单元和交流换热器单元安排在空间高阻抗区域中，所述用于叠层单元的高阻抗区域通常取接近 5 的值，而用于交流换热器单元的所述高阻抗区域取接近 30 的值。

对应于零空间阻抗的谐振器部分可以通过本地测量声压和判定阻抗无效的部分来识别。空间高阻抗区域对应于声压振幅值的绝对值最大的谐振器的部分 (图 11)。

两个主管元件还可以不通过直径 d 较小的单个管，而是通过多个直径 d_0 较小或不同直径 d_1 、 d_2 ... 的管来连接，以产生和功率传输有关的同样效果 (图 3)。

在直径较小的主管和管或部分之间的截面变化可以是不连续的，也可

以是连续的。在第一种情况下，它可以是一个阶状，在第二种情况下，它可以是锥形。

图 3 示出了两个分别包括叠层单元 3 和交流换热器单元 4 或两个交流换热器单元 3、4 的主管元件 1、2、这些热声单元 3、4 被设置在相邻的空间高阻抗区域中，它们由空间低阻抗区域隔开。两个主管元件 1、2 由相互平行的直径 d' 较小的多个管 5 在其一端彼此连接，并在包括连接的腔 8、9 的分支 6、7 处连接到圆形截面的直线管道 10、11。该实施例在要传输的声功率相当大、且必须同时降低每个管的速度以及每个管的直径以避免任何多余的壁厚（其由与在最大运行压力下的装置阻抗相关的规则施加）时非常有利。

为了控制并改变至少从主管元件向分支腔转移的体积流速的部分，导向腔的管道可以包括一个或多个串联电阻元件，其正向作用于在分支入口处的流速的相。这些元件在包括隔膜（图 4）、可压缩多孔介质（图 5）和抗性阀（图 6）或其他的组中选中。

有利地，管道通过加热或冷却实现温度控制。为此，例如，管道可以设置在自动调温器控制的溶液中，其中可以通过加热电阻来加热所述溶液或使用附加的制冷组来冷却所述溶液来调节温度。电子温度控制装置调节固定点的温度（图 7）。管道的温度控制可有利地无妨碍地调节声特征。

图 8 示出了包括管道 45 和分支的腔 46 的分支。腔 46 包括声作用元件 47，例如，叠层单元或扩音器，其主要允许作用调节分支入口处的声特征，但是还消除由于耗散带来的损耗，这主要出现在分支中。

已知将体与诸如细管的管道关联，使得可以创建易调节的谐振腔，并容易在声的情况下通过 $\frac{lV}{ArT} \omega^2$ 相对于腔容积 V 和细管的截面 A 及长度 l 以较好的近似符合要求，其中 ω 指声波的脉冲，而 T 为绝对温度表示的气体的平均温度。为了使所述量有代表性，细管的长度应该小于 $\lambda/2\pi$ ，该管道的内部直径 d_i 应该满足 $d_i/\delta_v \gg 1$ ，其中 δ_v 为粘性的边界层的厚度， $\delta_v = \sqrt{P_r} \times \delta_k$ ，其中 P_r 为普朗特常数。

在直径较小的部分的长度相等的情况下，在声的情况下，在 $\lambda/2$ 时，

$\frac{IV}{ArT} \omega^2$ 优选大于 5。相反，当该长度在声的情况下远小于 $\lambda/4$ 时，优选 $\frac{IV}{ArT} \omega^2$ 接近 2，而不是等于或接近 1，以此避免在分支中损耗主管的全部声功率。

图 9 是根据本发明的实施例的具有相同截面的多个分支的谐振器的截面图。四个包括直线管道 53-56 和分支的腔 57-60 的分支 49-52 连接到主管元件 48。为了避免主管的轴横向振动，优选实施例为将分支 49-52 成对设置在彼此相对的方向。

热声设备的应用领域不同且集中于制冷应用。其中，用作热源的热声制冷机的优选应用领域为工业或医药气体的液化及工业制冷等。

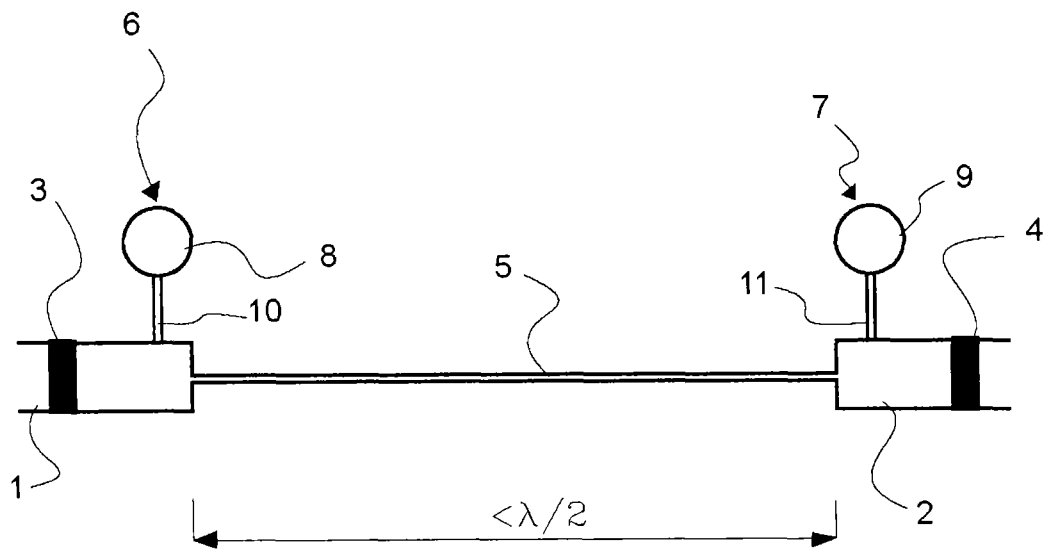


图 1

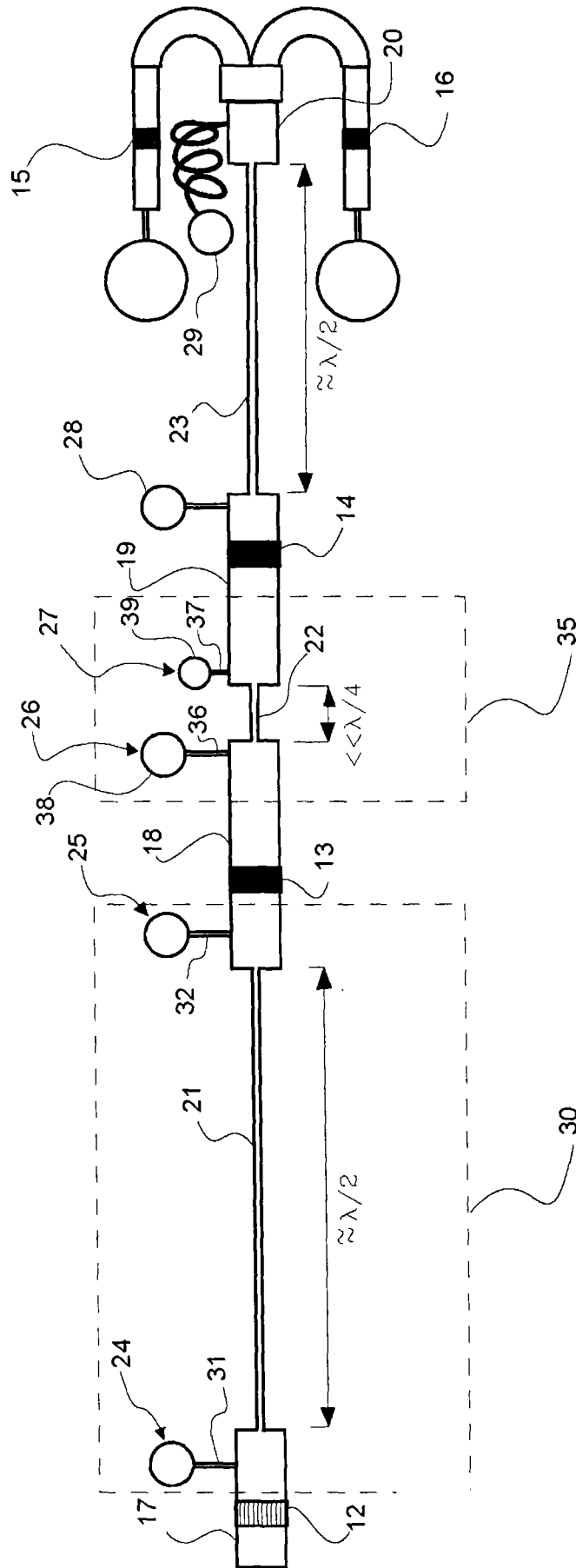


图 2

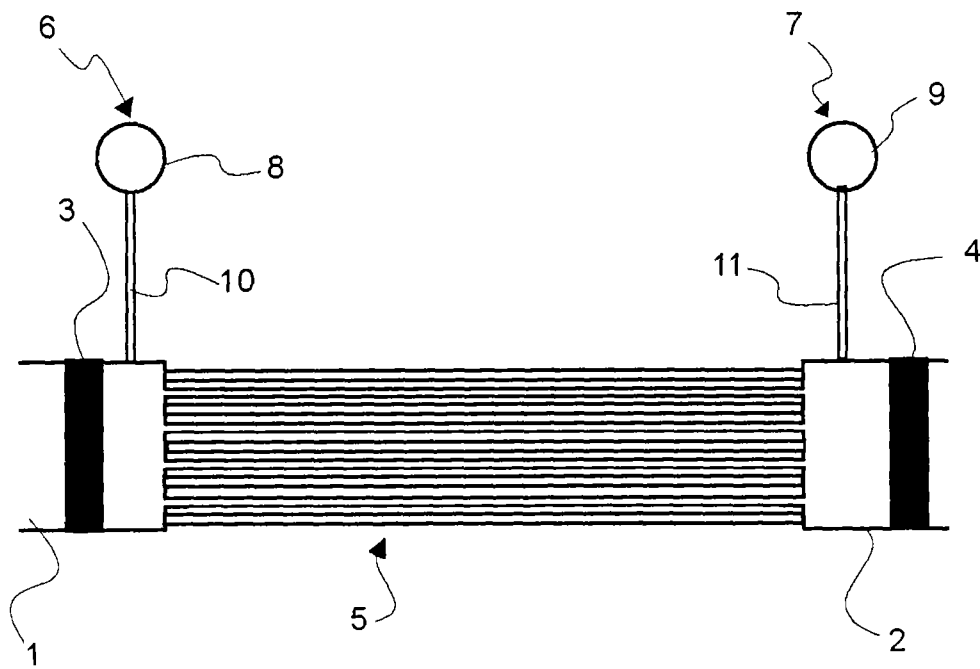


图 3

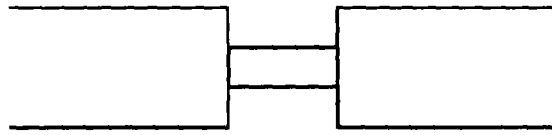


图 4

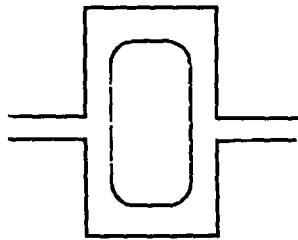


图 5

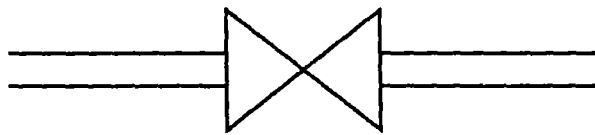


图 6

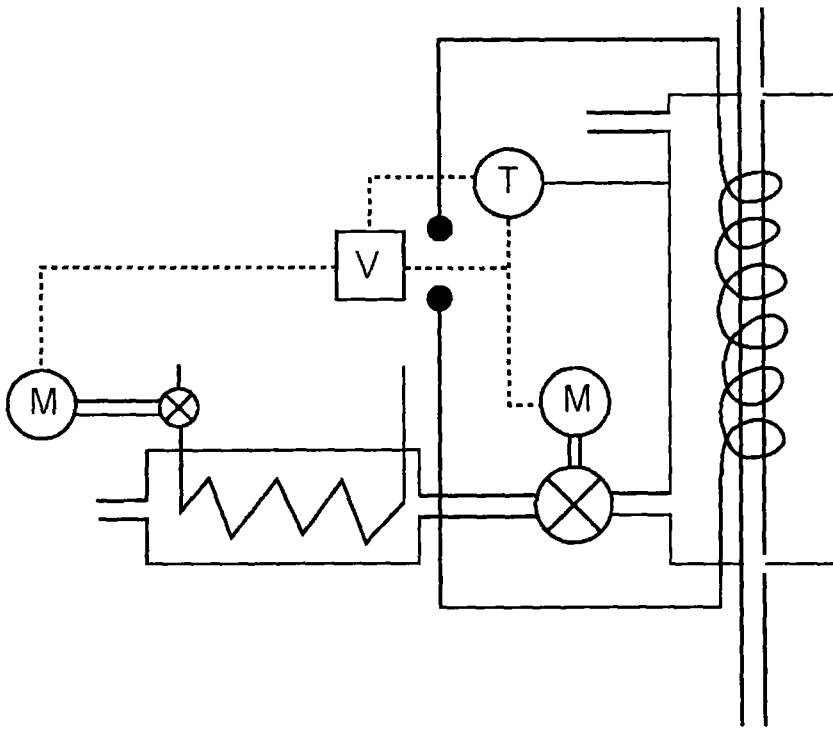


图 7

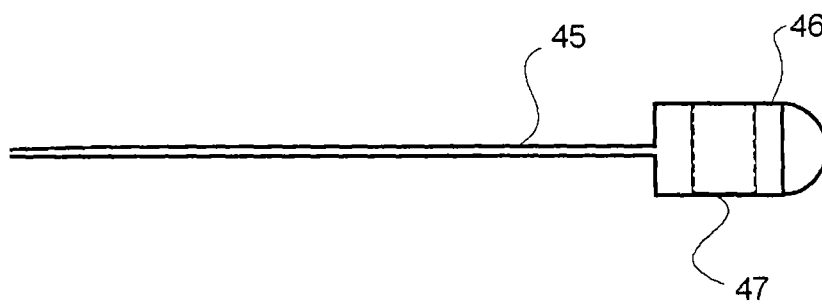


图 8

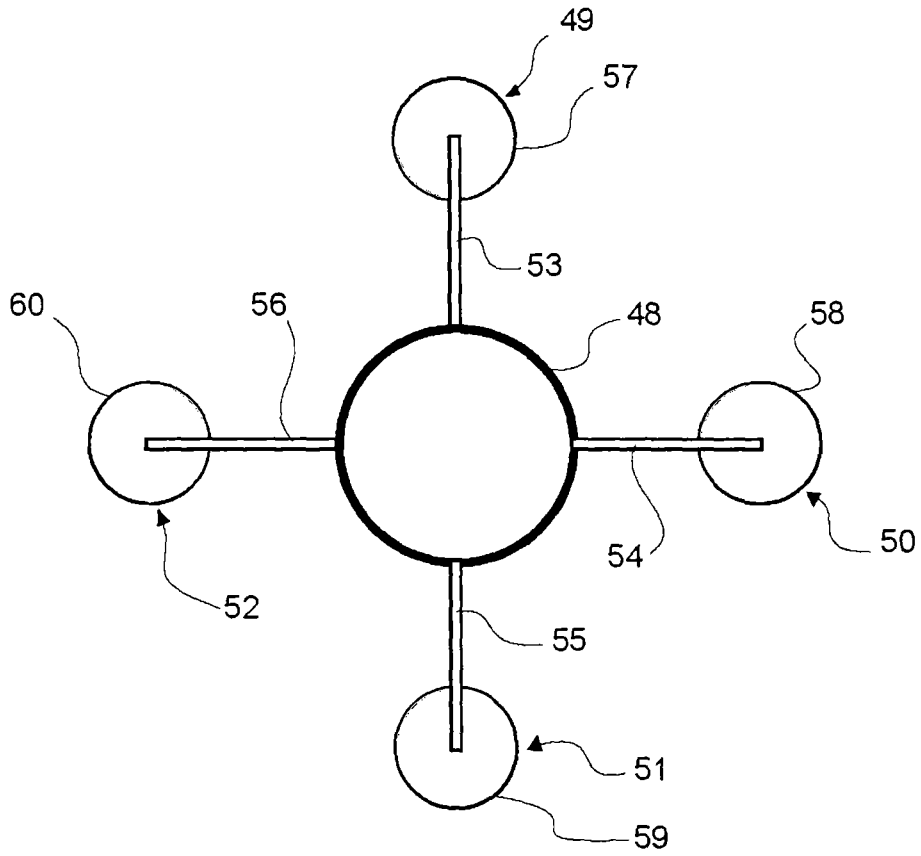


图 9

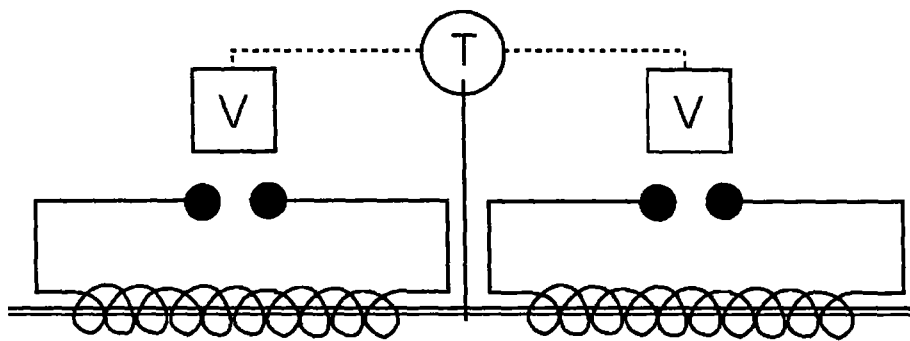


图 10

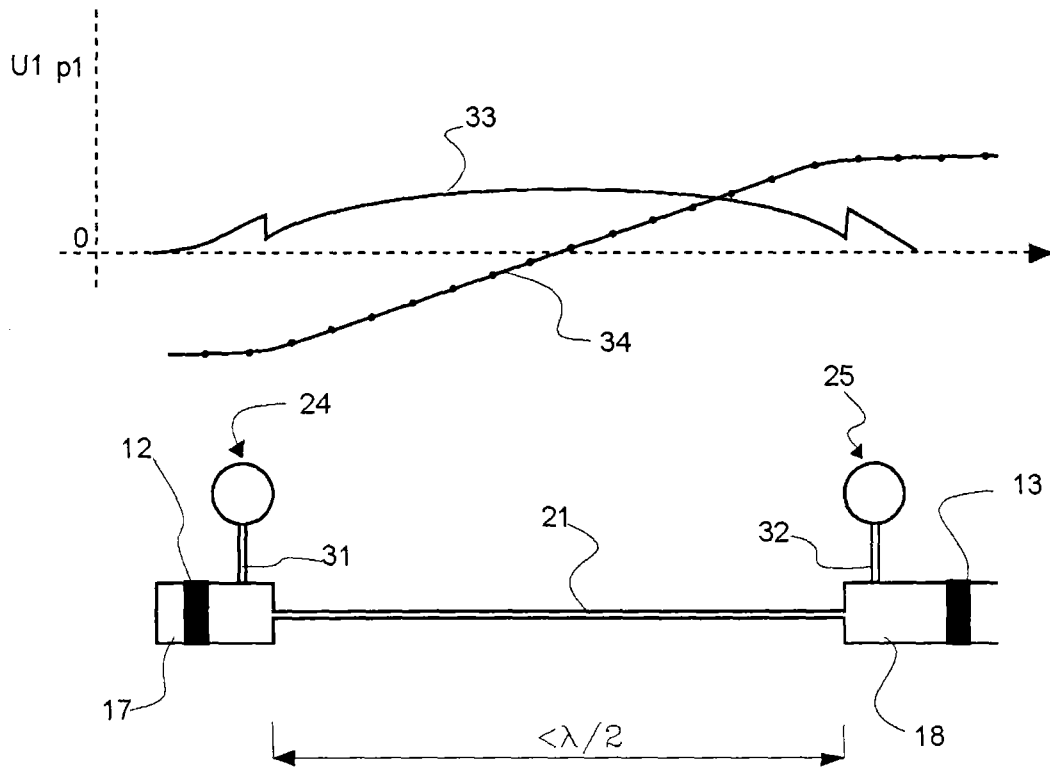


图 11

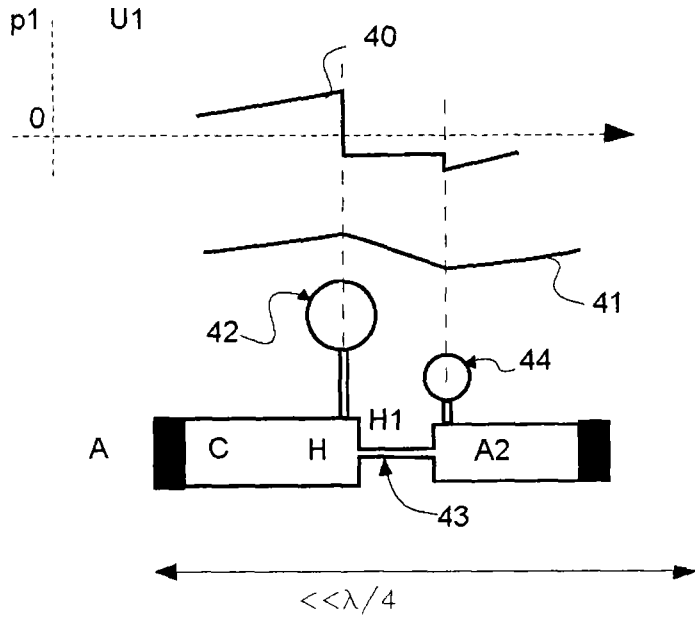


图 12A

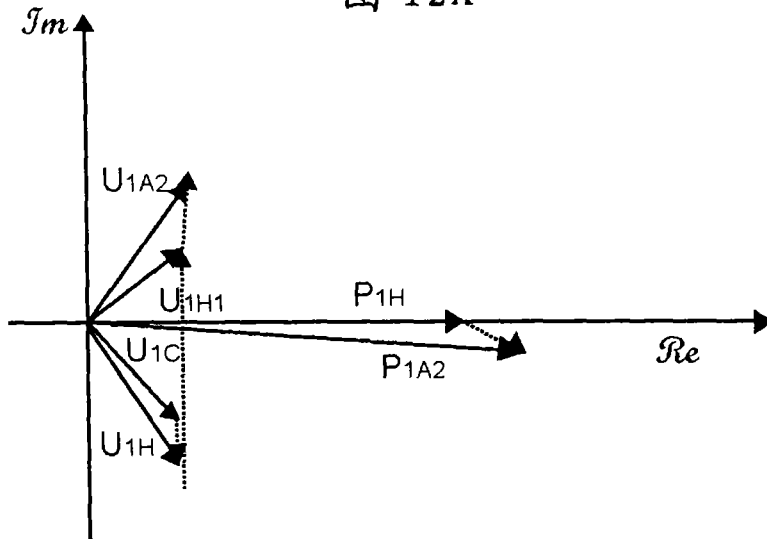


图 12B