



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101911445 A

(43) 申请公布日 2010. 12. 08

(21) 申请号 200880122421. 4

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2008. 01. 09

H02K 21/22(2006. 01)

H02K 1/27(2006. 01)

(85) PCT申请进入国家阶段日
2010. 06. 22

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2008/050670 2008. 01. 09

(87) PCT申请的公布数据

W02009/088512 EN 2009. 07. 16

(71) 申请人 奥势公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 葛瑞

(74) 专利代理机构 北京派特恩知识产权代理事

务所(普通合伙) 11270

代理人 张颖玲

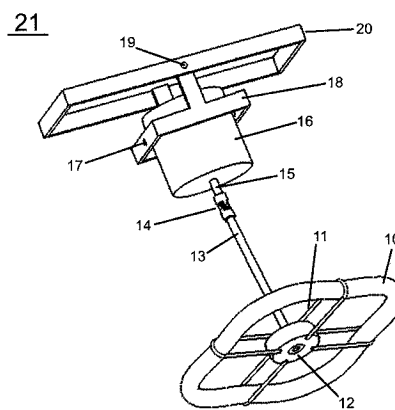
权利要求书 4 页 说明书 15 页 附图 26 页

(54) 发明名称

飞轮系统

(57) 摘要

本发明公开了一种飞轮系统,该飞轮系统具有近似环形的具有一定外径的飞轮转子,飞轮转子通过吊绳定位于轮毂周围并绑定到轮毂,吊绳形成的每个半径略小于飞轮转子的外径。轮毂通过挠性轴或具有挠性接头的刚性轴悬吊于电动发电机,飞轮转子具有一定的质量,实质上飞轮转子的所有质量包括纤维的质量,纤维可整体地或部分地相对于彼此移动。电动发电机悬挂于缓冲万向节,飞轮转子和电动发电机位于可抽成真空的舱室中。静电电动机/发电机也可以和飞轮一样位于相同的真空中。



1. 一种飞轮转子系统,其特征在于,包括近似环形的具有一定外径的飞轮转子,飞轮转子通过拉伸吊绳定位于轮毂周围并绑定到轮毂,吊绳形成的每个半径均小于飞轮转子的外径,飞轮转子具有一定的质量,转子的所有质量实质上包括纤维的质量,纤维可整体地或部分地相对于彼此移动。

2. 如权利要求 1 所述的系统,其特征在于,所述轮毂通过刚性轴悬吊于电动发电机,电动机 / 发电机悬吊于缓冲万向节。

3. 如权利要求 2 所述的系统,其特征在于,所述系统还进一步包括位于电动发电机和刚性轴之间的万向接头。

4. 如权利要求 2 或 3 所述的系统,其特征在于,所述吊绳的数目为 1、2、3、4、5、6 或任意数字。

5. 如权利要求 2 或 3 所述的系统,其特征在于,所述纤维为聚烯烃。

6. 如权利要求 2 或 3 所述的系统,其特征在于,所述电动发电机包括至少一个由电动机 / 发电机转子板和定子板形成的电容器,所述电动机 / 发电机转子板以机械方式连接到轴,所述定子板以机械方式连接到万向节。

7. 如权利要求 2 或 3 所述的系统,其特征在于,所述电动发电机包括至少一个由电动机 / 发电机转子板和定子板形成的电容器,所述电动机 / 发电机转子板以机械方式连接到轴,所述定子板以机械方式连接到万向节,所述电动机 / 发电机转子板和定子板电连接到驱动电子设备。

8. 如权利要求 2、3、4、5、6 或 7 所述的系统,其特征在于,所述组件包含在可抽成真空的舱室中。

9. 如权利要求 6 所述的系统,其特征在于,所述电动机 / 发电机转子板和定子板电连接到位于舱室外部的驱动电子设备,所述舱室包含可抽成真空的系统中的所有其它组件。

10. 如权利要求 8 或 9 所述的系统,其特征在于,所述舱室抽成至少 10^{-2} 托的真空。

11. 一种包含电动发电机以及近似环形飞轮转子的舱室的使用方法,其特征在于,飞轮转子具有一定的质量,飞轮转子的所有质量实际上包括纤维的质量,所述纤维部分地相对于彼此移动,所述舱室还包含轮毂,所述飞轮转子通过拉伸吊绳定位于轮毂周围并绑定到轮毂,所述吊绳形成的每个半径略小于飞轮转子的外径,所述轮毂悬吊于轴,所述轴或在垂直于旋转轴的方向上具有某种不可忽略的挠性,或为刚性轴,所述刚性轴通过挠性接头如万向接头悬吊在垂直于旋转轴的方向上,挠性轴或万向接头悬吊于电动发电机的轴,该方法包含以下步骤:

对所述舱室进行抽真空;

为所述电动发电机提供电能,使电动发电机通过轴或轴 / 接头组合将转矩施加到轮毂,以使飞轮转子旋转,使吊绳拉紧;

此后,停止为所述电动发电机提供电能;

此后,借助于所述电动发电机从旋转的飞轮转子中汲取能量,产生电能。

12. 如权利要求 11 所述的方法,其特征在于,所述飞轮转子具有角速度,所述角速度超过 1 赫兹。

13. 如权利要求 11 所述的方法,其特征在于,所述停止供应电能和汲取能量之间存在时间间隔,所述时间间隔超过 1 分钟。

14. 如权利要求 11 所述的方法,其特征在于,所述飞轮转子的旋转形成大量的存储能量,其中所述存储能量的数量超过 1 焦耳。

15. 如权利要求 11 所述的方法,其特征在于,对所述舱室抽气,产生至少 10^{-3} 托的真空。

16. 如权利要求 11 所述的方法,其特征在于,所述电动发电机包括至少一个由电动机/发电机转子板和定子板形成的电容器,所述电动机/发电机转子板以机械方式连接到轴且定子板以机械方式连接到万向节,所述电动机/发电机转子板和定子板电连接到驱动器电子设备。

17. 一种包括导电转子和导电定子的设备的使用方法,其特征在于,所述转子可相对于定子绕轴旋转,所述转子和定子形成可变电容,所述可变电容作为轴旋转的函数在最大值和最小值之间变化,所述电容具有第一和第二端子;在全程旋转期间,所述轴可旋转;所述设备具有第一、第二、第三和第四电节点,所述可变电容的第一端子电连接到第一节点,所述可变电容的第二端子电连接到第三节点;第一二极管连接在第二节点和第三节点之间,第二二极管连接在第三节点和第四节点之间,第一开关连接在第二节点和第三节点之间,第二开关连接在第三节点和第四节点之间;该方法包含两种工作模式,第一种模式的步骤包括:

相对于第二节点,向第一节点施加第一 DC 电压;

相对于第二节点,向第四节点施加第二 DC 电压;就第二节点而言,第二 DC 电压与第一 DC 电压的极性相反;

第一时刻,当可变电容达到并非其最大值的第一电容时,闭合第二开关;

在第一时刻之后的第二时刻,当可变电容达到高于第一电容的第二电容时,且当可变电容上的电压达到第一电势时,断开第二开关;

在第二时刻之后的第三时刻,当可变电容上的电势达到低于第一电压的第二电势时,且当电容达到第三电容时,闭合第一开关;

在第三时刻之后第四时刻,当电容达到第四电容时,断开第一个开关;

由此,在第一种模式期间,施加到设备上的电能转换为轴上的转矩;

第二种模式的步骤包括:

在第四时刻之后的第五时刻,断开第一和第二开关;

将转矩施加到轴,以使转子相对于定子旋转;

由此,在第二种模式期间,施加到轴的机械能在第四节点处转换为电能。

18. 如权利要求 17 所述的方法,其特征在于,所述第一二极管沿着第二节点到第三节点的方向导电,而第二二极管沿着第四节点到第三节点的方向导电;其中相对于第二节点,第一节点处的第一 DC 电压为负值。

19. 如权利要求书 17 所述的方法,其特征在于,所述设备进一步包括第二相位,所述第二相位包括第二相位转子和第二相位定子,在第二相位的第三节点,所述第二相位转子和第二相位定子分别与各自的第二相位开关和第二相位二极管连接,第二相位连接到第一、第二和第四节点;

其中,针对第二相位,执行所述方法中的步骤。

20. 如权利要求 19 所述的方法,其特征在于,所述设备进一步包括第三相位,所述第三相位包括第三相位转子和第三相位定子,在第三相位的第三个节点,所述第三相位转子和

第三相位定子分别与各自的第三相位开关和第三相位二极管连接,第三相位连接到第一、第二和第四节点;

其中,针对第三相位,执行所述方法中的步骤。

21. 一种包含导电转子和导电定子的设备,其特征在于,所述转子可相对于定子绕轴旋转,所述转子和定子形成可变电容,所述可变电容作为轴旋转的函数在最大值和最小值之间变化,所述电容具有第一和第二端子;在全程旋转期间,所述轴可旋转;所述设备具有第一、第二、第三和第四电节点,所述可变电容的第一端子电连接到第一节点,所述可变电容的第二端子电连接到第三节点,第一二极管连接在第二节点和第三节点之间,第二二极管连接在第三节点和第四节点之间,第一开关连接在第二节点和第三节点之间,第二开关连接在第三节点和第四节点之间。

22. 如权利要求 21 所述的设备,其特征在于,所述第一二极管沿着第二节点到第三节点的方向导电,而第二二极管沿着第三节点到第四节点的方向导电。

23. 如权利要求 21 所述中的设备,其特征在于,所述设备进一步包括第二相位,第二相位包括第二相位转子和第二相位定子,在第二相位的第三节点,所述第二相位转子和第二相位定子分别与各自的第二相位开关和第二相位二极管连接,第二相位连接到第一、第二和第四节点。

24. 如权利要求 23 所述的设备,其特征在于,所述设备进一步包括第三相位,第三相位包括第三相位转子和第三相位定子,在第三相位的第三节点,所述第三相位转子和第三相位定子分别与各自的第三相位开关和第三相位二极管连接,第三相位连接到第一、第二和第四节点。

25. 如权利要求 21 所述的设备,其特征在于,所述设备的开关受电路控制,所述电路的输入来自于集中探测转子旋转位置的旋转位置探测方法。

26. 如权利要求 21 所述的设备,其特征在于,所述设备进一步包括中心悬吊于轴上的实心转子,所述轴本身为挠性轴或悬吊于挠性接头,所述挠性轴或挠性接头悬吊于转子 26,所述定子悬吊于缓冲万向节。

27. 如权利要求 26 所述的设备,其特征在于,所述系统位于可抽成真空的舱室中。

28. 一种包括导电转子和导电定子的设备的使用方法,所述转子可相对于定子绕轴旋转,所述转子和定子形成可变电容,所述可变电容作为轴旋转的函数在最大值和最小值之间变化,所述电容具有第一和第二端子;在全程旋转期间,所述轴可旋转;所述设备具有第一、第二、第三和第四电节点,可变电容的第一端子电连接到第一节点,可变电容的第二端子电连接到第三节点,第一二极管连接在第二节点和第三节点之间,第二二极管连接在第三节点和第四节点之间,且波形源连接在第一节点和第三节点之间,该方法包含以下步骤:

施加来自于波形源的波形,以使转子旋转;

由此,施加到设备上的电能转换为轴上的转矩;

在稍后的时刻,停止施加来自于波形源的波形,并相对于第二节点,向第一节点施加第一 DC 电压;

将转矩施加到轴上,以使转子相对于定子进行旋转;

由此,在第四节点处,施加到轴的机械能转换为电能。

29. 如权利要求 28 所述的方法,其特征在于,所述第一二极管沿着第二节点到第三节点的方向导电,第二二极管沿着第四节点到第三节点的方向导电;其中相对于第二节点,第一节点处的第一 DC 电压为负值。

30. 如权利要求 28 所述的方法,其特征在于,所述设备进一步包括第二相位,所述第二相位包括第二相位转子和第二相位定子,在第二相位的第三节点,所述第二相位转子和第二相位定子分别与各自的第二相位波形源和第二相位二极管连接,所述第二相位连接到第一、第二和第四节点;

其中,针对第二相位,执行所述方法中的步骤。

31. 如权利要求 30 所述的方法,其特征在于,所述设备进一步包括第三相位,所述第三相位包括第三相位转子和第三相位定子,在第三相位的第三节点,所述第三相位转子和第三相位定子分别与各自的第三相位波形源和第三相位二极管连接,第三相位连接到第一、第二和第四节点;

其中,针对第三相位,执行所述方法中的步骤。

32. 一种包含导电转子和导电定子的设备,转子可相对于定子绕轴旋转,转子和定子形成可变电容,所述可变电容作为轴旋转的函数在最大值和最小值之间变化,所述电容具有第一和第二端子;在全程旋转期间,所述轴可旋转;所述设备具有第一、第二、第三和第四电节点,所述可变电容的第一端子电连接到第一节点,可变电容的第二端子电连接到第三节点,第一二极管连接在第二节点和第三节点之间,第二二极管连接在第三节点和第四节点之间,且波形源连接在第一和第三节点之间。

33. 如权利要求 32 所述的设备,其特征在于,所述第一二极管沿着第二节点到第三节点的方向导电,第二二极管沿着第四节点到第三节点的方向导电。

34. 如权利要求 32 所述的设备,其特征在于,所述设备进一步包括第二相位,所述第二相位包括第二相位转子和第二相位定子,在第二相位的第三节点,所述第二相位转子和第二相位定子分别与各自的第二相位波形源和第二相位二极管连接,第二相位连接到第一、第二和第四节点。

35. 如权利要求 34 所述的方法,其特征在于,所述设备进一步包括第三相位,所述第三相位包括第三相位转子和第三相位定子,在第三相位的第三节点,所述第三相位转子和第三相位定子分别与各自的第三相位波形源和第三相位二极管连接,第三相位连接到第一、第二和第四节点。

36. 如权利要求书 32 所述的设备,其特征在于,所述设备进一步包括中心悬吊于轴的实心转子,所述轴本身为挠性轴或悬吊于挠性接头,所述挠性轴或挠性接头悬吊于轴,所述定子悬吊于缓冲万向节。

37. 如权利要求 36 所述的设备,其特征在于,所述系统位于可抽成真空的舱室中。

38. 一个飞轮转子系统,其特征在于,该系统包括近似环形的具有一定外径的飞轮转子,飞轮转子拉伸吊绳定位于轮毂周围并绑定到轮毂,吊绳形成的每个半径均小于飞轮转子的外径,飞轮转子具有一定的质量,转子的所有质量实际上包括纤维的质量,纤维可以整体地或部分地相对于彼此移动,轮毂悬吊于轴,所述轴本身为挠性轴或悬吊于挠性接头,所述挠性轴或挠性接头悬吊于电动机/发电机,电动机/发电机悬吊于缓冲万向节。

39. 如权利要求 38 所述的设备,其特征在于,所述系统位于可抽成真空的舱室中。

飞轮系统

背景技术

[0001] 能够为后续使用存储电能是再好不过的事情。

[0002] 尽管有许多技术可以做到存储和再生电能,但在这些技术中,只有极少数能够做到真正足够廉价,以便为连接到大规模系统(例如公用事业的配电网)的应用提供经济的使用价值。所有这些目前可用的能够经济地发挥作用的极少数技术,其实际使用又受限于各种地理的、地质的和/或地形的要求,这些要求限制了它们最终能够达到的容量以及对潜在客户亲近度。

[0003] 廉价地储存大量电能的技术能够使发电机、变送器、配电器以及电力用户消除其电力需求中的大幅波动,以显著地提高燃料能效和资本效率。除了廉价的电能存储所带来的这种纯经济价值之外,还显现出巨大的环保价值。利用基于化石燃料发电所产生的二氧化碳是全球变暖的主要原因。虽然现今市场上存在着众多的既能产生大量可用电力同时又不会产生作为副产品的二氧化碳和其它污染物质的发电技术,但目前还没有一种广为人知的易于扩展的解决方案能够做到随心所欲地增加或减少其输出功率以满足用户要求。基于风能、太阳能和潮汐能转换的发电技术只能在这些能源可用时才能用来发电。众所周知,虽然核能工作在稳态输出时具有极高的运行效率,但它却很难迅速地增加或减少。由于受到这些暂时的限制,这些技术产生的电能只占总电力需求中很少一部分,并且在关键时刻它们必须依赖化石燃料发电来提供电力。为了使得这些在总系统发电容量中占据一定百分比的技术能够经济地发展,它们需要大幅度地提高电力存储和电力再生的能力。

[0004] 近年来大量注意力投向利用飞轮进行能量存储的理念。目标是通过电动机利用电能来加速飞轮从而将电能转化为存储在飞轮动量中的动能。一旦电能转化为动能,人们可以随意地设定传递时间,在此期间飞轮自由旋转。随后,通过使飞轮的动量驱动发电机或交流发电机来从系统汲取能量。这可以减慢飞轮转速并将其存储的动能重新转化为电能。

[0005] 储能飞轮是一种很早就提出来的概念,长期以来已获得广泛的使用。电能储存飞轮或电机电池(electro-mechanical battery)就像上述概念一样,也不是一种新鲜事物;而且已经证实,一些基于飞轮的系统能够为连接有某些应用如频率调整和短期电能储备的输电网提供一些高价值的服务。除了本文所要公开的发明外,尚未出现本发明者目前所知的那种飞轮能量存储系统,即能够足够经济地提供储能而作为大型能量存储解决方案获得广泛的实用性。

[0006] 飞轮系统的经济可行性取决于许多因素。在这些因素中,最重要的是用于建造的资金成本、“加速旋转”和“减速旋转”过程的转换效率,以及惯性运动的效率或者当飞轮处于充电状态而电力既未被使用也未被汲取时所损失的能量的多少。

[0007] 存储在飞轮中的动能为 $1/2I\omega^2$,其中 I 是飞轮的转动惯量, ω 是飞轮的角速度。为了使该公式每单位成本取得最大值,通常,理想的做法是将飞轮转子材料做成这样的形状:对于给定的材料量,它能够最大化转动惯量。其中一种最高效的飞轮转子形状是将材料做成环形或箍形。

[0008] 在制造飞轮的过程中,存在着大量必须考虑的设计问题,包括但不限于材料成本、

制造成本、动态稳定性、内部摩擦、轴承工艺及布置、电动机 / 发电机操作技术和配置, 以及封装。

[0009] 已知的一种飞轮系统是由 Vance 和 Murphy 所介绍和部分测试的“弹性飞轮”系统 (“Vance 飞轮”), 在 J. M. Vance 和 B. T. Murphy 的“基于弹性飞轮的家用或农场用惯性能量存储 (Inertial Energy Storage For Home or Farm Use Based on a Flexible Flywheel)”的文章中对其有描述, 该篇文章出自于 1980 年 10 月美国亚利桑那州 (Arizona) 斯科茨代尔市 (Scottsdale) 的 1980 年飞轮技术论文集第 75-87 页, 由美国能源部 (U. S. Department of Energy) 美国机械工程师协会 (American Society of Mechanical Engineers) 劳伦斯·利弗莫尔国家实验室 (Lawrence Livermore National Library) 联合发表。该设计借助于电动机的许多根支承绳索来悬吊面包圈形的绳索捆 (用作飞轮), 而电动机本身又从一个特殊的非轴向对称的缓冲万向节 (damped gimbal) 系统悬挂下来。Vance 系统表现出各种令人满意的属性。

[0010] 当该系统通过电动机迅速获得加速度使得支承绳索自身“扭转”以形成一种挠性轴时, 系统表现为完全达到自平衡和自稳定的状态。这是相较于其它大多数所述飞轮系统的主要优点。

[0011] 此外, 由于 Vance 飞轮转子的单根纤维在刚性基体中没有进行彼此粘连, 飞轮转子不会承受很大的内应力和内摩擦力, 而这些内应力和内摩擦正是限制许多其它飞轮设计的因素。在由各向同性材料、复合纤维 / 树脂基体或任何其它刚性或半刚性材料所制成的刚性飞轮中, 由于飞轮转子的材料在飞轮转子高速旋转时承受角加速度, 因此会形成环向应力。飞轮转子周边的应力显著大于靠近旋转轴位置的应力。所有材料在承受应力时均会拉长, 材料所承受的应力越大, 表现出的拉长效应越明显。由于旋转体上所形成的应力分配, 飞轮转子中距离旋转轴的径向长度各不相同的不同部分之间会形成不一致的拉长效应。在刚性或半刚性的飞轮转子系统中, 这些差别可导致飞轮转子各个部分之间形成巨大的剪应力。这些应力可导致飞轮转子毁坏。该问题构成飞轮领域中众多研究工作的主题。由于 Vance 飞轮为弹性, 且其纤维并非刚性地相互粘连, 所以这些纤维可相对于彼此轻微移动。因此, 在许多同时代的飞轮转子设计中往往成为问题的巨大剪应力, 在这里不会出现, 从而也不会构成问题。

[0012] 当与系统在飞轮转子中的高效质量分布相结合时, Vance 飞轮所表现出的自稳定、自平衡和剪力释放属性, 以及易于制造性和低轴承负荷使得这一结构配置非常令人关注。

[0013] 然而, 在项目取消之前, 上述设备尚未经过完全测试。该设备会受到一些关键的限制, 使其不能在上述可实施的能量存储解决方案中使用。最关键的限制是万一支承绳索被允许解开时, 系统会变得极度不稳定。为了任何飞轮都能在高速时以较低的惯性损失进行工作, 它必须工作在相当好的真空中并配有极其高效的轴承系统来避免较大的风阻和摩擦损耗。在这种环境下, 在惯性运转时, 没有 (或很少的) 转矩施加于飞轮转子, 且在重力作用下解开支承绳索。当支承绳索松开时, 飞轮转子失去其自平衡和自稳定的属性, 变得极度不稳定, 这种状态对于可部署的系统是不可接受的。在飞轮转子的转矩实际发生反向作用的任何情形下, 也会遇到这种被解开的形态。在这种情况下, 支承绳索因受力而完全解开, 然后再次缠绕, 要求系统通过不稳定的“被解开”形态。例如, 当系统从加速旋转模式直接进入减速旋转模式时, 会发生这种情形。然而, 这种情况下的不稳定期通常较短, 一般不会

损毁系统,它较为强烈且会对系统产生相当大的不可控应力,这在任何要求具有高度可用性的应用中都是不可接受的。

[0014] Vance 飞轮在施加于系统的转矩量方面也受到关键性的限制。

[0015] 为弄明白这种情况,可以考虑与此类似的普通的儿童玩具,一种以橡胶带为动力的轻木飞机。首先,橡胶带完全松开且未缠绕。当开始缠绕推进器时,橡胶带扭转。在某个点上,橡胶带将获得充分缠绕,它进入第二阶缠绕,这比最初的第一阶缠绕粗糙些。缠绕的橡胶带会自我回绕,创建第二层的缠绕。第二层缠绕的第一部分看上去像一个小扭结。如果一直进行缠绕,最终一排连续的扭结将布满橡胶带的整个长度。一旦这一排连续的扭结布满整个橡胶带,如果继续缠绕,将开始另一个更大的代表第三阶缠绕的扭结,这第三排的大扭结将开始变大。通常情况下,一旦第三阶缠绕占据整个橡胶带的一半长度,橡胶带将在其中一端断裂。

[0016] 如果不使用在两个固定点之间缠绕的橡胶带,可以将一捆绳索用平衡物(或者在该实施例中为飞轮转子)系在一端使其垂下,该绳索可以不断地自我缠绕扭转。因为该系统两端不固定,当绳索随着每一次新的缠绕而变粗时,绳索只是变短了,而不是为系统添加更大的张力。绳索快速地缩短到这种程度:它不再是一种充满弹性的松弛的稳定器,而是开始接近于一种短小的刚性连杆。在这一连续动作的某个点上,飞轮因长度缩短或因弹性丧失而变得不稳定。由此可以看出,在系统变得不稳定之前,对可以施加到系统的转矩量有着严格且相当低的限制。如果施加过大的转矩,缠绕的绳索将反复地自我缠绕,每一个新层的缠绕均会缩短它们的有效长度,直到飞轮几乎与电动机/发电机刚性连接并失去自平衡的能力,此时飞轮变得极度不稳定。

[0017] 这种转矩限制非常重要,因为它限制了为系统注入功率或从系统汲取功率的速率,从而限制了系统的效用。在需要尽可能快速地为飞轮放电的情形下,这也构成了一种安全问题。

[0018] 本发明是对 Vance 飞轮设计的重大改进。通过融合新颖的超级环弹性飞轮转子配置(该配置使用具有挠性联轴节的刚性轴),本发明集成了 Vance 飞轮的所有优点,但是又淘汰了缠绕的支承绳索。这允许机器在真空中惯性运转并颠倒转矩方向,永远不会影响系统的稳定性。此外,本发明可极大地增加了施加于飞轮转子的转矩量。这转而极大地增加了给定时段内能注入系统或从系统汲取的能量值。

[0019] 解决内部摩擦/剪应力问题的另一种成功途径是“裸细丝(bald filament)”或“近似圆”飞轮转子,如 G.Genta 的“动能存储:高级飞轮系统的理论与实践(Kinetic Energy Storage:Theory and Practice of Advanced Flywheel Systems)”(Butterworth-Hiemann 公司出版,1985年2月)以及 D.W.Rabenhorst、T.R.Small 和 W.O.Wilkinson 的“低成本飞轮演示程序(Low-Cost Flywheel Demonstration Program)”,(美国约翰霍普金斯大学应用物理实验室(The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory),报告编号 DOE/EC/1-5085,1980年4月)中所述。

[0020] 该系统使用弹性纤维环,该纤维环由一系列具有压缩应力的轮辐或者由具有近似圆形构造的固体来支承,请参见图 23 和图 24。在近似圆形的带轮辐的配置中,纤维环的半径小于轮辐 70 的半径,这样将迫使环 71 变成比环 71 和轮辐 70 具有相同半径时所确定的圆小的形状。在 Rabenhorst 所描述的近似圆形的飞轮转子中,使用切割成近似圆形的实心

内核而不是 Genta 的轮辐内核,但是途径、目标以及系统的功能从表面上看完全相同。当近似圆形的飞轮转子旋转时,在离心力的作用下将迫使弹性纤维变为完美的圆形。因为轮辐或内核系统将不允许纤维成为其自然倾向于形成的平衡的圆形,它们会承受随着飞轮转子的旋转速度加快而增加的压缩力。由于这种相互作用,飞轮转子的纤维得到充分的控制,以提供合理的飞轮转子稳定性,但是这种配置不要求纤维或细丝刚性地粘附到内核、轮辐或彼此粘结。这可以使“裸细丝”或“近似圆”飞轮转子避免前述的内部摩擦和剪应力问题。轮辐 70 或实际轮辐的数目可以在带内核的飞轮转子中得到,该轮辐数目的变化范围可以从最少的 2 根轮辐 70 到由使用具体配置进行的实验所确定的某一相当大的数目之间。

[0021] 所讨论的这些“裸细丝”或“近似圆”飞轮转子可以合理地达到平衡状态,但是细丝彼此相对的移动限制了他们在标准的刚性支承飞轮系统中的使用,因为这些飞轮转子自身处于动态之中,故趋向于在系统循环期间发生失衡。此外,这些飞轮转子需要使用相对昂贵的材料和技术来制造轮辐 70、轮毂 73 或内核。尽管,Rabenhorst 已经成功地测试出廉价的材料如胶合板,但是它们的可靠性太低,且由于它们在使用期间“排气”到真空环境中,因此要求系统采用有效的真空维护系统,例如扩散泵、离子泵、涡轮泵或吸附泵,而这需要支付额外的制造费用和能源开支。用于有效维护真空环境的这一系统也是一种损耗和 / 或维护项目。

[0022] 本发明使用超级环式来达到类似但更加卓越、也较为廉价的效果。通过使用更短的拉伸吊绳 11 来代替压缩式轮辐 70 或近似圆飞轮转子的内核,可以在细丝环 10 中获得“超级环”形状(图 25 和图 26)。吊绳 11 的拉伸纤维可以由与主细丝环 10 相同或不同的材料制成。在超级环飞轮转子中,吊绳中的拉伸力随着转速的增加而增加,并且倾向于保持小型内部轮毂 12 平稳地与环 10 的旋转轴对齐。这种稳定力随着转速的增加而增加。尽管该系统的稳定性在低速时不如采用刚性元件所能实现的稳定性那样完美,但经过恰当的调整,可以足够完美地产生绰绰有余的稳定性。因为与真空相容的廉价拉伸材料易于获得,因此制造超级环飞轮转子的成本远比具有同等功能的近似环飞轮转子的制造成本低。并且,超级环飞轮转子的制造技术非常简单,这也可以节省相当大的一笔制造费用。

[0023] 此外,当结合 Vance 飞轮的万向节系统使用时,用超级环或近似环裸细丝飞轮转子可实现该系统的自平衡属性,进一步削减成本并提高系统的可靠性。

[0024] 如果设计的飞轮系统能够避免 Vance 飞轮的缺点以及其它飞轮设计的缺点,但能保留飞轮的其它优点,这将是再好不过的事情。另外最好能够使用廉价的材料。这样一种系统将能够呈现高效且环保的电能存储前景。

[0025] 对用于存储电能的飞轮系统设计的另一个顾虑是能量注入飞轮的方式以及能量汲取的方式。许多将能量注入系统和汲取能量的方法都是低效的、昂贵的或笨重的。这些方法中的某一些非常不适合于这里将要采用的实际环境(真空)。

[0026] 如果飞轮系统经过设计能够进行廉价及高效的能量注入和汲取,并能使得能量注入 / 汲取的机构既不笨重也能很好地在真空环境中工作,这将是令人满意的结果。

[0027] 上述新颖的飞轮转子和万向节系统 21 可以结合各种各样的电动机 / 发电机技术一起使用,以便将能量注入系统或从系统汲取能量,包括但不限于气动涡轮、液压涡轮、鼠笼式感应式、永磁感应式、电刷直流(DC)感应式、通用式、多相式、单极式以及静电式电动机 / 发电机。如前所述,能量存储飞轮系统设计中重要的考虑事项是材料成本、制造成本、

充电效率、放电效率和惯性运转效率,且必须和真空环境相容。许多上述电动机/发电机系统尽管能够在该系统中使用,而考虑到这些原因,它们并非最佳方案。

[0028] 为了最小化惯性运转损失,那些不要求在定子和电动机/发电机转子之间采用物理连接的电动机/发电机的某些形式是理想的。此外,能量耗散应该达到最小,特别是在真空环境中采用非接触式轴承系统(例如使用有效的磁推轴承)时。电动机/发电机转子中的能量耗散必须达到最小化,因为电动机/发电机转子中累积的热量消散速度相当慢。

[0029] 由于这些原因,并考虑到低制造成本和低材料成本,我们已经选择开发新颖的“浮动转子”静电式电动机/发电机,它具有许多优点,包括电动机/发电机转子与任何其它部件之间不需要电接触、电动机/发电机转子中非常低的能量耗散、非常低的总体能量耗散、非常高的效率、高可靠性、真空兼容性和低成本的材料及制造技术。

[0030] 大多数读者熟悉的电动机和发电机是采用由磁感应或由永久磁铁和磁感应组合所产生的磁场将电能转换为转动能(电动机中)及将转动能转换为电能(发电机或交流发电机中)。电动机和发电机所采用的这些方法具有许多优势,使得这些设备对于大多数应用极具吸引力。这些优点主要体现在较高的功率重量比、较高的功率体积比、相对高的效能以及目前市场上广泛提供的设备的兼容性。

[0031] 这些电磁电动机很容易成功地与本文所述的超级环飞轮装置一起使用。但这些电动机虽然非常有用且被广泛采用,但在飞轮应用系统中也受几个缺点的困扰,不过这些缺点可以通过采用针对发电机/电动机问题的不同的方法来避免。这些缺点主要是能量耗散和高昂费用。电磁电动机中的能量耗散通常来自于5个方面,即风阻、摩擦、焦耳加热、磁芯磁滞以及涡电流加热。

[0032] 风阻也可以称为空气动力损耗,这是任何运动或旋转的物体在穿过大气运动时所受到的损耗。通过将系统置于真空环境中几乎可以完全解决这个问题,真空度越高,效果越好。

[0033] 摩擦通常来自于两方面之一。首先,所有不是“非接触式”的轴承系统将具有彼此接触的表面,因此当轴承转动时将产生摩擦损耗。在许多电磁(和静电)电动机设计中,旋转的转子必须物理和电连接到某种类型的电力系统。在这种情况下,最广泛采用的解决方案是使用一个电刷或一系列电刷在转子的某些表面运行以产生可供电能流过的物理连接。所述电刷通常会导致系统的摩擦损耗。

[0034] 焦耳加热是电流流经导线时所生成的热,通过方程式 I^2R 来计算。因为电磁电动机必须使用金属线圈来产生其工作时必需的电磁,焦耳加热是一种不可避免的结果。通过使用较粗的导线可以最小化给定功率水平下的焦耳加热,但这通常会导致较高的费用,且该解决方案受到电动机系统几何形状的限制。

[0035] 磁滞损耗发生在电磁电动机中用于增加磁力和磁选的软磁芯材料中。当通过软磁性材料运转的磁场反向时,它需要一些能量来再定向该磁性材料中的磁载体。所需的这种反向能量被称为磁滞。该能量以热的形式被耗散掉。通过不采用软磁芯材料的设计,也就是通常所说的“空芯”设计,可以完全避免这种磁滞现象。但是这些设计需要在它们的线圈中采用更多的安培匝数,以便产生与标准磁芯电动机相同的功率水平,因此这通常要产生高得多的焦耳加热损耗和/或费用。

[0036] 出现涡电流损耗是由于暴露于不断变化的磁场的导电材料中出现感应涡电流的

结果。这种效应可以用法拉第定律来描述,并用于在各种电磁系统中发挥更大的作用,例如通常被称为鼠笼式感应电动机的系列设计。尽管涡电流用在许多设计中,但这些电流相当大并且容易产生焦耳加热现象,因此是一种损耗源。

[0037] 就此处所述的飞轮来讲,风阻损耗将通过在真空中操作设备来降至最低。摩擦损耗将通过使用非接触式轴承系统或其它经过特别设计制造的轴承系统来降至最低。而对于焦耳、磁滞和涡电流损耗,如果使用电磁电动机/发电机,则很难将它们显著地降低到一定水平之下。需要注意的是:有些电磁设计可以经过优化以便在飞轮惯性运转状态下减少这些类型的损耗。这样的一种设计便是 P. Tsao、M. Senesky 和 S. R. Sanders 的“采用单极感应式电动机/发电机和高频驱动器的集成式飞轮能量存储系统 (An integrated flywheel energy storage system with homopolar inductor motor/generator and high-frequency drive)”(IEEE 工业应用汇刊 (IEEE Trans. Industry Applications), 第 39 卷,第 6 期,第 1710-1725 页,2003 年 11 月)中所描述的情形。但这些损耗源在电动机/发电机处于工作状态时仍然显著存在,考虑到目前的制造工艺状况和这些材料的现行市场价格,用于制造这样一种电动发电机的材料及制造方法的成本高得令人不敢问津。

[0038] 正如期望的那样,也可以通过静电场将电能转化为转动能及将转动能转换为电能。这种解决电动机/发电机问题的方法不受焦耳、磁滞和涡电流损耗的影响,或者可以从根本上最小化这些影响,因为它既不需要高电流也不需要磁场。这些设计通常可在高电压下实现最高的功率,电压越高效果越好,并且可以达到极高的效率。尽管这些设计通常无法满足在很多应用中作为非常重要衡量尺度的功率和单位容积比方面的电磁设计要求,但这些设备如果设计合理,可以在对于飞轮应用具有重大意义的功率和单位成本比方面满足或超过电磁解决方案。此外,这些设计中的某一些设计是极度高效的。

[0039] 在飞轮应用中,因为磁滞和涡电流损耗已经通过使用静电设计得到消除,剩下仅有的系统损耗来源便是风阻、摩擦和焦耳损耗。焦耳损耗可通过使用高电压从根本上降低。功率可以由方程式 $P = VA$ 确定。这表明在给定功率水平下,随着系统工作电压的增加,维持该功率水平所需的电流线性降低。电流降低时,由公式 I^2R 确定的焦耳加热按指数规律降低。工作在 10k 伏特的系统承受的焦耳加热将比工作在 100 伏特电压且具有相同功率水平的系统低近 10,000 倍。在实际中,静电电动机/发电机的工作电压很容易就可以远超过 10k 伏特。

[0040] 如前所述,可以通过在真空环境中运行装置来使风阻损耗最小化。

[0041] 大多数静电电动机和发电机设计都要求电动机/发电机转子和设备的定子电连接到电源或接地,至少是间歇性地电连接到电源或接地。许多这种设备都使用一种称为电晕的现象在系统循环期间在电动机/发电机转子的一个或多个表面上安放或移除电荷。由于在飞轮应用中,期望降低风阻,于是最好在真空中运行系统,电晕并不是一种传输电荷和电力的有效方法。其它典型的电连接到静电设备的电动机/发电机转子部分的方法是采用电刷。很明显,这样一种带电刷的系统所产生的摩擦是不希望的。与电动机/发电机转子没有物理接触的这样一种静电电动机/发电机当然深受欢迎,并且也是必需的。

[0042] 能够解决这一问题的静电发电机在 Sanborn F. Philp 的“真空隔离、可变电容机器 (The Vacuum-Insulated, Varying-Capacitance Machine)”(IEEE 电绝缘汇刊 (IEEE Transactions on Electrical Insulation), 第 EI-12 卷,第 2 期,1977 年 4 月)一文中有

描述。

[0043] 图 20 显示的是由 Philp 所构想的概念上的静电发电机的平面图、截面图和示意图。转子 41 和定子 42 形成可变电容 35。转子 41 在轴 43 上旋转。在这个实施例中,假设转子 41 有电接触,例如通过导电刷实现电接触。

[0044] 在轴 43 旋转时,电容 35 在最大值和最小值之间变动。Philp 建议在节点 31 处提供负的激励电压。二极管 36、37 使得电荷向着节点 34 注入。通过这种方式将轴 43 的转动能量转换为节点 34 处的电能。转换效率可以达到很高,因为主要损耗(轴承摩擦、二极管发热以及转子的风阻)可以很容易地降低到非常低的水平。

[0045] 在将浮动转子装置描述为不同于典型的非浮动型可变电容的机器时,Philp 说到“由于转子(位于带电刷的系统中)是一个电极,须进行电刷连接,在典型的直流电(DC)应用中,该电刷连接是用于施加激励电压的方法。当激励源提供的平均功率为零时,流经电刷连接的电流与整个机器电流处于相同的数量级。对于如[图 4]所示的一种不同形式的电机,其不要求电刷连接。这种机器被称为“浮动转子”(FR)机器。在 FR 机器中,定子组件 A[42c] 和 B[42d] 构成了性质不同的电极,这些电极之间存在机器电压。变化的电容是指 A 和 B 之间的电容。转子与 A 和 B 绝缘[通过真空]。当转子处于其叶片完全位于定子 A 和 B 之间这样的位置时,A 和 B 之间的电容 C_{AB} 达到最大值。该电容是两个电容串联的结果,即定子 A 到转子、转子到定子 B。由于转子在其轴上旋转,转子到定子的电容发生改变,于是得到电容 C_{AB} 也发生了变化。当转子处于其叶片完全位于定子构件之外这样的位置时, C_{AB} 达到最小值,该最小值实际上只是转子边缘和定子边缘之间的弥散场所产生的电容。

发明内容

[0046] 飞轮系统具有近似环形的具有一定外径的飞轮转子,飞轮转子通过吊绳定位于轮毂周围并绑定在轮毂上,每根吊绳的半径略小于飞轮转子的外径。轮毂通过挠性轴或结合有挠性接头的刚性轴悬吊于电动发电机,飞轮转子有一定的质量,实质上飞轮转子的所有质量包括纤维的质量,纤维彼此间可以产生位移。电动发电机悬挂于缓冲万向节,飞轮转子和电动发电机位于可抽成真空的舱室中。静电电动机/发电机也可以像飞轮一样位于相同的真空中。

附图说明

[0047] 将结合附图对发明加以阐释。

[0048] 图 1-3 为本发明的飞轮系统实施例的不同立体图;

[0049] 图 4-19 为本发明的电动机/发电机实施例的视图;

[0050] 图 20 为 Philp 所构想的概念上的静电发电机的平面图和截面图以及示意图;

[0051] 图 21 为本发明的电动发电机实施例的示意图;

[0052] 图 22 为本发明的三相电动发电机实施例的示意图。在图中可以看到可变电容 35a、35b、35c,例如每个都来自于如图 13-16 所示的转子板。每个相位都有其各自的寄生电容 53a、53b 和 53c。图中显示的开关和二极管对应于图 21 中所示的开关和二极管;

[0053] 图 23 为 Genta 风格的近似圆飞轮转子系统 72、刚性轮辐 70、细丝环 71 和中心轮毂 73 的立体图;

[0054] 图 24 为 Genta 风格的近似圆飞轮转子系统 72、刚性轮辐 70、细丝环 71 和中心轮毂 73 的平面图；

[0055] 图 25 为本发明的超级环飞轮转子系统 74、细丝环 10、吊绳 11 和轮毂 12 的立体图；

[0056] 图 26 为本发明的超级环飞轮转子系统 74、细丝环 10、吊绳 11 和轮毂 12 的平面图。

具体实施方式

[0057] 图 1、图 2 和图 3 为本发明实施例中飞轮系统 21 的立体图。本发明的系统已经过测试，并证实具有极佳的稳定性，且能够承受测试系统所能提供的所有转矩。

[0058] 通过万向接头 14 连接到电动机 / 发电机 16 的轴 13 代替了 Vance 飞轮系统中的扭绞绳索。14 处的示例性设备是一种万向接头，但事实上这里可以使用任何种类的弹性联轴器。为简单起见，使用了最大转矩、最小费用、刚轴 13 和普通万向接头 14。可以使用波纹管联轴器，也可以使用橡胶联轴器或由合适材料制成的高度灵活的轴。

[0059] 图中的飞轮转子主体 10 实际上是一束可变成环形、面包圈形或近似于环形的任何形状的可拉伸纤维。像 Vance 飞轮一样，不需要在纤维上使用粘合剂，但如有要求也可以使用粘合剂，前提是粘合剂不能构成刚性或半刚性的基体，这种刚性或半刚性的基体无法释放纤维之间可能形成的剪应力。吊绳 11 相比于主体 10 的半径要短，这样一来主体 10 上的离心力将在旋转期间拉起吊绳 11，因此使得吊绳 11 绷紧。这种张力反过来又为中心轮毂 12 提供了刚度，并能抵抗可能会促使轮毂 12 放弃主体 10 的旋转轴而选择其它不同旋转轴的任何外力。具有这种结构的飞轮转子可以被称为“超级环”。

[0060] 这种效果当然不够完美，但是对于维持经过测试的大幅转速范围内（大范围的角速度）的稳定性已经足够了，稳定性随着速度（能量）的增加而提高。吊绳长度与环半径的确切比例并不是一成不变的，而是可以经过优化，以便充分利用所使用的材料的性质优点。

[0061] 在测试中，已经使用刚性粘合剂来将环上与吊绳交切及连接处的所有纤维彼此粘结牢固。还没有发现这种情况对于飞轮的剪应力释放性能有任何负效应，因为所粘结的环体积只占整个环体积的很少一部分，且所粘结的环的角度部分只占整个环的很少一部分。这种排列实际类似于这样一种排列：允许吊绳在环截面附近缠绕一次或多次，从而吊绳可以离开轮毂、在环体附近缠绕一次或多次并再次返回到轮毂。在这种构造的飞轮转子中，可以看到由于吊绳承受着拉伸荷载，它们在其连接点将强大的压缩力传递给环上与吊绳连接处的纤维。在这种情况下，来自该压缩力的摩擦可以防止吊绳连接点处的纤维彼此相对移动，但是却允许它们在环的绝大部分圆周上进行移动。这种排列在整体上对于飞轮转子的剪应力释放能力没有明显的负面影响，并对性能也没有任何明显的负面影响。

[0062] 另外注意到这一点也很重要：超级环飞轮转子的环不是必须具有圆形截面，也可以使用具有方形、矩形、椭圆形或随意形状截面的环。由弹性柱体材料也可以用于作环。吊绳不是必须要绕过环的外侧来穿过，而可以直接穿过环，如果这种几何形状更适合的话。

[0063] 万向接头 14 将轴 13 与电动发电机 16 的电动发电机轴 15 连接起来。在本实施例中，电动发电机 16 通过轴承 17 固定于万向节 18，而万向节 18 转而又通过轴承 19 固定于框架 20。

[0064] 注意到这一点也很重要：万向节 17、19 的轴承需要有一些缓冲。在我们的试验装

置中,我们使用的是高性能的轴承,或者我们已经加载了使用适合高度真空的润滑脂的轴承,以提供一些减震或缓冲的功能。如果没有一定缓冲措施,万向节的自稳定效应将无法实现。这里可以使用任何缓冲方法,我们也已经成功地用磁涡流式缓冲进行了实验。值得指出的是:这种缓冲以热量的形式构成了能量耗散,并且未来系统的任何设计人员都应该意识到高效地耗散这种热量的必要。在我们的试验装置中,我们发现黑体辐射已经足以耗散这种能量,但是从设计角度考虑应该切记,某些配置或材料可能无法做到如此容忍这一点。

[0065] 应该指出:万向节不必具有2根轴。成功的单轴万向节在 John M. Vance 的“垂直轴能量存储飞轮的转子动态稳定性设计 (Design for Rotordynamic Stability of Vertical-Shaft Energy Storage Flywheels)”(第二届国际能量转换工程会议 (2ndInternational Energy Conversion Engineering Conference),2004年8月16-19日,美国罗德岛州 (Rhode Island),普罗维登斯 (Providence)) 一文中有描述。尽管该单轴万向节能够成功地稳定系统,但它却不能保护飞轮的轴承系统避免两个轴向上的过载问题。为了获得高效能、长寿命、削减轴承系统的成本以及对来自任何方向上的干扰的耐受性,非对称二轴的缓冲万向节最好采用单轴配置。

[0066] 这种超级环配置(环形主体 10 由若干吊绳 11 固定于轮毂 12)在各种各样的飞轮系统中显示出其优点,并不限于这里所描述的飞轮从支承电动机/发电机的缓冲万向节上悬吊下来的特定类型的飞轮系统。

[0067] 在本实施例中,电动机/发电机 16 和飞轮转子 10 在同一个真空封装中。

[0068] 主体 10 可由能在真空中工作的最廉价的材料制成。几乎所有以前的研究者都集中采用的两种衡量标准分别是能量与质量之比、或能量与体积之比。这样做自有其充分的理由,但在该应用中,这些衡量标准不起任何作用。我们的衡量标准是能量与资金成本之比。这就是本发明者所研发的飞轮转子的真正重要之处。该飞轮转子将能够由各种真正廉价的材料制成,从而使得拉伸强度与成本之比达到最大。不满足这一最大化比例的材料也可以完全适用于这种设计,但是它们可能无法使得飞轮系统的总体成本达到最小。

[0069] 在过去,许多研究者已经寻求最大化能量与质量之比、或能量与体积之比的方法。然而,实际经验表明:最好能够最大化拉伸强度与资金之比。对于这一点,我们指的是构成主体 10 的材料的拉伸强度。基本一般质量的无碱玻璃(E-玻璃)玻璃纤维即可经济地满足要求。钢丝或电缆也可以很好起作用,但不是特别经济。其它的可选材料包括玄武岩纤维、麻、马尼拉麻、竹子、桦木、硫酸酯、纸张、木头、剑麻、黄麻、粗麻布、亚麻布、亚麻、其他的纤维素纤维、各种聚烯烃(包括聚乙烯、塑料、聚酯、丙烯酸纤维、芳族聚酰胺纤维、碳纤维、碳纳米管、其它高强度的纳米管材料),只要是能够找得到的任何廉价高强度纤维均可。

[0070] 应该指出的是:吊绳的数量可以有相当大的不同。使用 2、3、4、5 或 6 根吊绳的经验表明:采用这些吊绳数量中的任一种均能很好地工作。可以设想一下:较多数量的吊绳也能够很好地工作。即使是单根吊绳也是可行的。

[0071] 相比于 Vance 设计,本发明的设计对于可以施加的最大转矩没有设定下限。采用本发明的设计,能够向系统施加较大转矩,这样可允许人们极大地增加速率,在该速率下能够将能量注入或移除系统。这是极大的优势。

[0072] 值得注意的是,即使不想要这种为飞轮转子施加较大转矩的功能,刚性连接悬挂飞轮转子的这种特性将显著地缩短在遇到事故或其它事件时安全地停止系统所需的时间

(相比于在 Vance 系统中如果使用扭绞绳索元件悬挂飞轮转子时使飞轮转子停止所需的时间)。

[0073] 这里所述的系统可以利用众多种类纤维中的任何一种,包括相对廉价的纤维。在除了强度与成本之比之外选择纤维的首要因素是:希望纤维能够适用于真空,这在文中是指能够达到充分抽空后的低压平衡,以允许设备起作用并达到材料能够汽化或升华的程度,它并不产生会发生过度腐蚀或会危害系统其它元件的环境。如上所述,关键的衡量标准似乎是存储能量与单位成本之比。在采用纤维材料的情况下,我们需要最大化拉伸强度与单位成本之比。

[0074] 如上所述,飞轮转子内的内部剪应力可以将其撕裂。在这种超级环柔性飞轮中,一个基本的优势是:这种应力从来不会发展到任何严重的程度。纤维可以自由地彼此相对移动,因此可以释放任何重大的剪切应变。该系统的另一项优势是它更加廉价,因为不需要对纤维材料进行处理,在制造过程中也不需要任何树脂。

[0075] 然而,重要的是要考虑到飞轮转子的纤维中发生自我磨损的可能性。理想的做法是选择没有明显自我磨损的纤维材料。纤维的不同自我磨损率所造成的影响将需要进行进一步的测试。

[0076] 图 4-19 为本发明中的电动机 / 发电机实施例的视图。

[0077] Philp 的可变电容浮动转子机器只是作为高电压直流 (DC) 电发电机的一种构想。在飞轮应用中,必须对其改进,使其既能作为电动机使用,也可作为发电机使用。第一个改进之处便是添加(类似于 Philp 所描述的二极管)能够以高频下切换必需的高电压的开关。其次,添加可用于确定电动机 / 发电机转子的角位置的系统。该系统可以是大量的非接触式位置传感装置中的任何一个,但在本实施例中,我们主要使用的是反射式光学传感器系统进行工作。这种位置传感系统可以将数据馈送到计算机或者某种类型的微处理单元中,也可以直接连接到开关,从而在电动机 / 发电机转子循环周期中的特定时间激活它们,这使得曾经只能作为发电机使用的系统现在也可以作为电动机使用。

[0078] 根据存储在电容器中的能量来理解静电电动机工作原理的一种方法:图 4 示出这样一种电容器实例,图 4 为相对于导电定子板 42 旋转的可导电的电动机 / 发电机的转子板 41 的立体图。在实施例中,导电板 41、42 由金属或其它覆盖有导电表面的材料制成。在旋转过程的一个点,电容达到最大值(此时电动机 / 发电机转子的叶片完全位于定子的叶片内)。在旋转过程的另一个点,电容达到最小值(此时电动机 / 发电机转子的叶片完全位于定子的叶片之外)。寄生电容 53 将提高可达到的电容最小值。这成为一种顾虑,因为该设备随着电容变化的增长而获得电力,并且如果电容的变化低于最大电容的 1/2,该设备将无法工作。

[0079] 当然,电容由公式 $Q = CV$ 决定,这里的 Q 是存储在电容器中的电荷, V 是电容器板之间形成的电压。这里, C 是完全可变的。

[0080] 对于这种电动机配置,从完全停止状态启动系统会遇到问题,有可能是电动机 / 发电机转子停在功率无法再增加的位置。此外,有可能是电动机 / 发电机转子停在只能朝着与受设计者或操作员青睐的转动方向的相反方向旋转才能增加功率的位置。在此情况下,必须修改一些方法来使得电动机启动,或者另外使电动机 / 发电机转子只停在有利的位置。可以对前述提到的微控制器系统进行编程,以便使得电动机 / 发电机转子只停在有

利的位置。此外,也可以构建这样一种接触装置,当该接触装置激活时将使电动机/发电机转子停在预先定义的角位置。前一种方法比较复杂,并且不允许系统扰动,因为这种扰动可能会意外地改变电动机/发电机转子的角位置。后一种方法虽然较为简单,但是比较粗糙,可能会导致精密易损的电动机/发电机转子部件中出现不受欢迎的应力。

[0081] 第三种方法是为电动机/发电机添加一个或更多的附加相位。设置附加相位以消除电动机/发电机转子无法再为系统增加功率的所有位置。此外,也可以这样设置附加相位,以使电动机/发电机转子在每个可能的静止位置能够选择最初的旋转方向。

[0082] 在潜在功率或尺寸方面,相位不必全部相同。事实上,在某些应用中设有附加相位可能是有利的,附加相位具有确保电动机正常启动必需的最小尺寸和功率。相反在某些应用中,选择尽可能接近于相同的尺寸和功率的相位可能是有利的。系统的各相位之间保持宽范围的尺寸和功率之比可以很好地满足具体应用的具体设计标准。

[0083] 另一种启动电动机/发电机的方法是提供转动能的某种外部来源。这可以是一种也位于真空舱室中的小型发电机,或者它可以是一种系统,该系统以电磁或物理方式连接到在主电动机保护外壳外部的转动能的某种来源,或者它可以是某种为系统提供一个小转动冲量的其它方法。

[0084] 根据存储在电容器中的能量来理解可变电容静电电动机/发电机工作原理的一种方法:电容器中的电荷量由公式 $Q = CV$ 定义,这里的 Q 是电荷, C 是电容,而 V 是电压。在可变电容器中, C 值可以改变。如果可变电容器的值为最小值且给定的电荷和电压施加到电容器上,那么可变电容器将允许采取更大的电容,存储在该电容器中的电荷量将保持不变,但是电压将随着电容的升高而降低。这允许系统进入较低能量的状态,这样一些机械工作将由电容器完成,以达到这种较低能量的状态。反之,如果低电压时将一些电荷添加到最大电容状态下的可变电容器中,那么可变电容器的值将被迫减小,电荷量将保持不变,但是电容器上的电压将增加,且系统将进入高能量状态。为了达到这种高能量状态,将必须完成一些工作以便使可变电容器从其最大电容位置进入到其最小电容位置。

[0085] 在 Philip 的浮动转子可变电容机器中,只有利用该现象的发电方面。当可变电容器达到最大值时,电容器上的电压可以降低至接地电压以下。当发生这种情况时,通过接地二极管将电荷吸引到电容器上,直到电容器达到上述最大值。然后可变电容器开始减小电容且电容器上的电压升高,一直到电压达到设备的输出电压为止。一旦发生这种情况,电荷会流经高边二极管,直到电容器达到其最大值,且所供给发电机转子的能量以电势的形式转化为设备的输出。可变电容器然后开始再次向其最大值方向移动,且电容器上的电压降低,直到它降为足够低的值以再次通过低边二极管来吸引电荷。

[0086] 在本发明所描述的电动机/发电机中,上述过程也可以保留。当可变电容器达到其最小值时,或者刚好经过最小值且向最大值方向移动时,高边开关关闭,以允许高压电荷流入到电容器中。在达到最大电容之前的某个时间点上,开关断开,以中断电荷的这种流动。随着电容器接近其最小值,该电荷的电压降低,从而降低其电势并将该能量转换成有用的转动功。一旦电容器上的电压达到低边电压,或者在电压有可能升高到超出该低边电压之前的某个时间点上,低边开关闭合并允许电荷从电容器中流出。随着电容器电容值的减小,低边开关保持闭合,这样一来电容器上的电压保持在低水平,且不需要转动功(或者至少非常小;在开关中将有一些小小的低效现象,从而需要少量的功来克服)。随着电容器接

近其最小值,低边开关刚好在高边开关断开之前断开(或者理想的情况是与高边开关在同一瞬间断开),允许新单位的高压电荷从高边流到电容器中,然后开始新循环。

[0087] 参照图 21,其示出了是本发明用于电动发电机的电子部件 52 的示意结构。

[0088] 在单相电动机/发电机的情况下,电子部件 52 被使用一次。在两相电动发电机的情况下,电子部件 52 在每一相中被使用一次,每相具有共同的第一、第二和第四节点 31、32 和 34。每相(转子和定子)都由一个对应的可变电容器 35 代表。

[0089] 同理,在三相电动发电机的情况下,电子部件 52 继续在每一相中被使用一次,同样每相具有共同的第一、第二和第四节点 31、32 和 34。

[0090] 为了能够解释清楚,我们开始对单相装置及其关于单相的一系列操作步骤进行描述。有价值的是,讨论将“必要的修正”应用到第二、第三相位和附加相位(如果存在的话)。

[0091] 电动机/发电机设备因此包括一个导电转子和一个导电定子,转子可相对于定子绕轴旋转,转子和定子可形成电容 35。电容 35 作为轴旋转的函数可在最大值和最小值之间变化,电容具有第一和第二端子。正如上下文所清楚表明的那样,假定许多实施例中的轴连接到飞轮,在全程旋转期间,轴是可旋转的。

[0092] 就第一、第二、第三和第四电节点 31、32、33 和 34 对电动发电机设备进行描述。可变电容 35 的第一端子电连接到第一节点 31。可变电容 35 的第二端子电连接到第三节点 33。第一二极管 36(这里有时候被称为“低边二极管”)连接在第二节点 32 和第三节点 33 之间。第二二极管 37(这里有时候被称为“高边二极管”)连接在第三节点 33 和第四节点 34 之间。第一开关 38 连接在第二节点 32 和第三节点 33 之间,而第二开关 39 连接在第三节点 33 和第四节点 34 之间。

[0093] 我们可以先描述电动发电机首先作为电动机工作的一系列步骤,随后再描述电动机/发电机作为发电机工作的一系列步骤。当然对于此处所讨论的具体实施例,电动发电机作为电动机来使飞轮旋转,并作为发电机来从飞轮汲取能量。

[0094] 在电动发电机充当电动机的工作模式期间,典型的步骤顺序为:

[0095] 相对第二节点 32,向第一节点 31 施加第一 DC 电压;

[0096] 相对第二节点 32,向第四节点 34 施加第二 DC 电压;就第二节点 32 来讲,第二 DC 电压与第一 DC 电压的极性相反;

[0097] 在第一时刻,当可变电容 35 达到并非其最大值的第一电容时,闭合第二开关 39;

[0098] 在第一时刻后的第二时刻,当可变电容 35 达到高于第一电容的第二电容时,且当可变电容 35 上的电压达到第一电势时,断开第二开关 39;

[0099] 在第二时刻后的第三时刻,当可变电容 35 上的电势达到低于第一电压的第二电势时,且当电容达到第三电容时,闭合第一开关 38;

[0100] 在第三时刻后的第四时刻,当电容达到第四电容时,断开第一开关 38;

[0101] 按照这种方式,通过第一节点 31、第二节点 32 和第四节点 34 施加到设备上的电能转换为轴上的转矩。

[0102] 在“电动机”模式期间,不应该发生开关 38、39 同时闭合的情况。

[0103] 电动发电机稍后被用作发电机使用。然而,可以理解的是,根据电动发电机的应用,可能会希望系统(例如飞轮)能够“惯性运转”。在惯性运转期间,可能会希望允许可变电容器的一个端子或者电容器的另外一个端子进行“浮动”。或者,可能会希望将可变电容

器的两个端子全部接地。

[0104] 另一种允许“惯性运转”的方法相当简单,只需断开开关 38、39 并使得节点 34 处的电压高于节点 33 处形成的电压(严格来讲,对节点 33 和 34 处的相对电压来讲,其并不使二极管 37 导通)。在这样一种情况下,可变电容器不会将任何净转矩施加到转子轴上。如果轴以机械方式连接到飞轮,这时飞轮会“惯性运转”。

[0105] 当需要以“发电机”模式工作时,第一和第二开关均断开。节点 31 处提供激励电压。在节点 33 处形成不同值的 DC 电压,并且如果二极管 37 电导通,所形成的电压和电荷会传导至节点 34。

[0106] 按照这种方式,施加到转子轴的转矩导致转子绕着定子进行旋转,并且施加到轴的机械能可以转换为第四个节点处所传送的电能。

[0107] 在这里所阐述的实施例中,第一二极管 36 沿着第二节点 32 到第三节点 33 的方向导电,第二二极管 37 沿着第三节点 33 到第四节点 34 的方向导电,且节点 31 处的第一 DC 电压相对于第二节点 32 为负值,可将其任意指定为“接地”。当然,这些极性是任意的,且整个系统可以在相反极性下或者在显著不同于地球表面电位的“接地”电位下工作。

[0108] 然后,可推广到相位数大于 1 的多相位的情形。这样一来,例如设备可以进一步包括第二相位,第二相位包括有第二相位转子和第二相位定子,在第二相位的第三节点,该第二相位转子和第二相位定子分别与各自的第二相位开关和第二相位二极管相连接,第二相位连接到第一、第二和第四节点 31、32 和 34。在这种针对第二相位的设备中,也可以执行所述方法中的步骤。

[0109] 同理,设备还可以进一步包括第三相位,第三相位包括第三相位转子和第三相位定子,在第三相位的第三节点,所述第三相位转子和第三相位定子分别与各自的第三相位开关和第三相位二极管相连接的第三相位转子和第三相位定子,第三相位连接到第一、第二和第四节点 31、32 和 34。在这种针对第三相位的设备中,也可以执行所述方法中的步骤。

[0110] 也可以按照需要来提供更多的相位。

[0111] 即使在单相设计中,也可以存在多个极,这是可以理解的。在多极配置中,开关 38、39 的断开和闭合严格按照所述方法执行(联系电容的较高或较低值等来考虑),但是轴的每一次实际旋转,开关 38、39 的断开和闭合会发生很多次。

[0112] 参照图 21,其示出了控制开关 38、39 的控制电路 40。控制电路 40 可根据旋转位置传感器 51 来执行其操作。在一个实施例中,转子沿着其圆周具有反光部件,这些反光部件可由 LED 光电晶体管检测到,因此允许控制电路 40 在恰当的时间断开和闭合开关 38、39 以驱动电动机。

[0113] 在最普遍的意义所期望的是,在“电动机”模式下操作设备 52 所要求的莫过于适合于“踢动”转子以使其连续地旋转(或更快地旋转)的节点 31 和节点 33 之间的相对电势的波形。如上所述,开关 38 和 39 以及节点 31、32、34 处的电势可以(在电子控制设备 40 的辅助下)提供这种波形。但在节点 31 和 33 处任何提供波形以“踢动”转子进行旋转的操作,会使所述设备充当电动机(将电能转换为转动机械能)使用。

[0114] 当前在本文件中所述的电动机/发电机,仅在电动机/发电机的转子板和定子板之间是真空,以达到绝缘目的。可以增加绝缘体涂层或可变的绝缘体涂层,并且可以提高电动机/发电机工作时的总电压,增加从既定大小的单位获取的总电力而不会出现电击穿现

象。另外,可变的绝缘体涂层可用于提高最大电容以及系统电容的总体可变性。这些作用中的任何一个都可以增加具体配置中的电动机可用的电力蕴藏量。从成本与电力之比的角度考虑,目前严格真空绝缘的系统应该是最佳选择。

[0115] 在图 4 的实施例中,技术名词“2 极”可用于表示电动机 / 发电机转子的每次旋转都会产生两个最大和两个最小的电容值。

[0116] 这样一种静电系统中的极数可以不断变化,但是通常情况下,对于给定速度的电动机,通过采用数目较大的极数可产生更高的功率。设计中可采用的极数是有限制的。优化过程在 Christopher Lee Rambin 的“经过优化的静电电动机 (The Optimized Electrostatic Motor)” (提交给美国路易斯安那州立大学工程与科学学院 (College of Engineering and Science Louisiana State University) 的学位论文,1998 年 5 月) 一文中有所描述。这篇文件出现一些错误,但是它在许多方面都很有用。对于极数的主要限制是使用所选定的制造方法所能建造的最小形体尺寸、电动机 / 发电机转子板和定子板之间的间隔以及用于驱动静电电动机的切换设备的最大频率。最大切换频率将限制电动机所能达到的最大转速或转速 (rpms)。若在设定的最大切换频率的情况下,具有的极数较少的电动机将能够达到更高的最大转速。如果设计需要给定的最大转速,那么必须根据所需的转速对最大切换速度和最大极数进行优化。

[0117] 图 5 示出了与图 4 中电动机 / 发电机转子和定子相同的转子和定子的平面图。

[0118] 图 6 示出了堆叠在轴 43 上的两极电动机 / 发电机转子和定子 (例如图 4-5 中的转子和定子) 的立体图。对于每一极,均有四个定子板 42 和三个电动机 / 发电机转子板 41。图 7 示出了图 6 中电动机 / 发电机转子板 41 和轴 43 的立体图。图 8 示出了图 6 中的四个定子板 42 和三个电动机 / 发电机转子板 41 以及轴 43 的截面图。

[0119] 图 10 示出了轴 43 上的电动机 / 发电机的转子板 41a、41b 的立体图。该电动机 / 发电机转子可以被称为“两相”电动机 / 发电机转子,意思是转子板 41a、41b 通过机械方式彼此以九十度角异相排列。如果不理解定子的排列方式,就无法完全确定他们的电相位关系。它也是一种两极电动机 / 发电机转子,意思 (如上所述) 也是指电动机 / 发电机转子的单次旋转可产生两个最大电容和两个最小电容。

[0120] 为清楚起见,图 10 中忽略了定子,这里定子也是按两相部署,分别对应于电动机 / 发电机转子板的相位。图 11 是图 10 中的电动机 / 发电机转子的不同立体图,而图 9 是图 10 中的电动机 / 发电机转子板 41a 和 41b 的平面图。

[0121] 图 13 示出了轴 43 上的电动机 / 发电机转子板 41a、41b 和 41c 的立体图。这种电动机 / 发电机转子可以被称为“三相”电动机 / 发电机转子,意思是转子板 41a 和 41b 彼此以六十度角异相排列,且转子板 41b 和 41c 通过机械方式彼此以六十度角异相排列。它也是一种两极的电动机 / 发电机转子,意思 (如上所述) 是电动机 / 发电机转子的单次旋转可在每个相位中产生两个最大电容和两个最小电容。

[0122] 为清楚起见,图 13 中忽略了定子板,这里定子板也可以是按三相部署。通常,电动机 / 发电机转子将以机械方式定相或者定子将以机械方式定相,这样可获得电相位角,但在某些情况下可能希望电动机 / 发电机转子和定子均通过机械方式进行定相。图 14 是图 13 中的电动机 / 发电机转子的不同立体图,而图 12 是示出了图 13 中的电动机 / 发电机转子板 41a、41b 和 41c 的平面图。图 15 是图 13 中的电动机 / 发电机转子的另一个立体图。

[0123] 在实施例中,电动机/发电机转子是一种堆叠,如图 16 所示,其转子板 41a、41b 和 41c 以三相方式部署在轴 43 上。如上所述,为清楚起见,图 16 中忽略了定子。在图 17 中可以看到,堆叠的定子板 42a、42b 和 42c 也可以用于产生电相位角。定子板 42a、42b 和 42c 以三相方式部署,如图 17 中的立体图所示的那样。

[0124] 也可以部署数目更多的极。图 19 示出了具有八个叶片的电动机/发电机转子板 41 以及具有四个叶片的定子板 42 的立体图。图 18 示出了图 19 中的系统的平面图。

[0125] 极数可以大于八,极数大于八被认为更可取。极数越多,电动机可提供的功率也越大,这表明极数应该越大越好而不是越小越好。

[0126] 然而,有几个限制极数的因素。首先,极的最小外形尺寸必须至少为电动机/发电机转子和定子之间的间隙尺寸的 1.5 倍(大约值),否则电容器可能会丧失可变性,因为电容开始从电极的边缘流失,并且最终会产生许多寄生电容。

[0127] 同样,使用的极数越多,必须更快地接通或断开高电压以获得给定的电动机旋转的转速(rpm)。

[0128] 人们认为最佳的极数将接近于 100 极而不是 8 极。

[0129] 相位数的选择也是进行优化的对象。两相被认为是可以满足当前应用需要,虽然三相被认为最佳。也可以使用更多的相。如果将以某种其它方式从任何给定的静止位置启动电动机,或者只考虑将要实现的发电能力,单相系统将足以满足大多数应用的需要。

[0130] 本领域技术人员将能够毫无困难地对能够在合理的高频率下高效地切换高电压的开关作出大量明显的变形和改进,所有这些都拟包含在后续的权利要求书的范围内。堆叠式绝缘栅双极型晶体管(IGBT)或金属氧化物半导体场效应晶体管(Mosfet)开关都可以在本发明中很好地工作,例如 W. Jiang 的“使用堆叠式 Mosfet 晶体管的快速高电压切换(Fast High Voltage Switching Using Stacked Mosfets)”(IEEE 绝缘体与电绝缘汇刊(IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation),第 14 卷,发表日期:2007 年 8 月,第 947-950 页)和 J. W. Baek、D. W. Yoo、H. G. Kim 的“使用带有简单辅助电路的串联 IGBT 晶体管实现高电压切换(High Voltage Switch Using Series-Connected IGBTs with Simple Auxiliary Circuit)”(2000 年工业应用会议(Industry Applications Conference 2000),2000 IEEE 的会议记录,第 4 卷,2000 年 10 月,第 2237-2242 页)以及其它许多出版文献和书籍中对此都有描述。目前,堆叠式 IGBT 开关看起来似乎可以用相对低的成本来提供最佳的性能和效率,并易于使用普通的可以获得的元件将其制造出来,但是许多其它类型的知名开关可以结合所述的电动机/发电机一起使用,并假设可以使用其它不太知名或尚未发明的开关设备。

[0131] 还需要指出的是:在我们所有研究中,电动机/发电机和飞轮共用同一个主轴承系统。这样做是基于方便和经济的考虑因素,且该发明者尚不清楚使用额外主轴承、或者电动机/发电机轴承和飞轮转子轴承分开使用的任何其他配置更可取的具体原因,但是这些配置当然可行,且旨在纳入后续的权利要求书的范围内。此外,也需要指出的是:可以将各种各样的轴承技术应用于该系统中的主轴承,且每种轴承技术将具有其各自的优缺点。目前,我们更偏向于在本发明中使用标准的非接触式无源/有源混合电磁轴承。

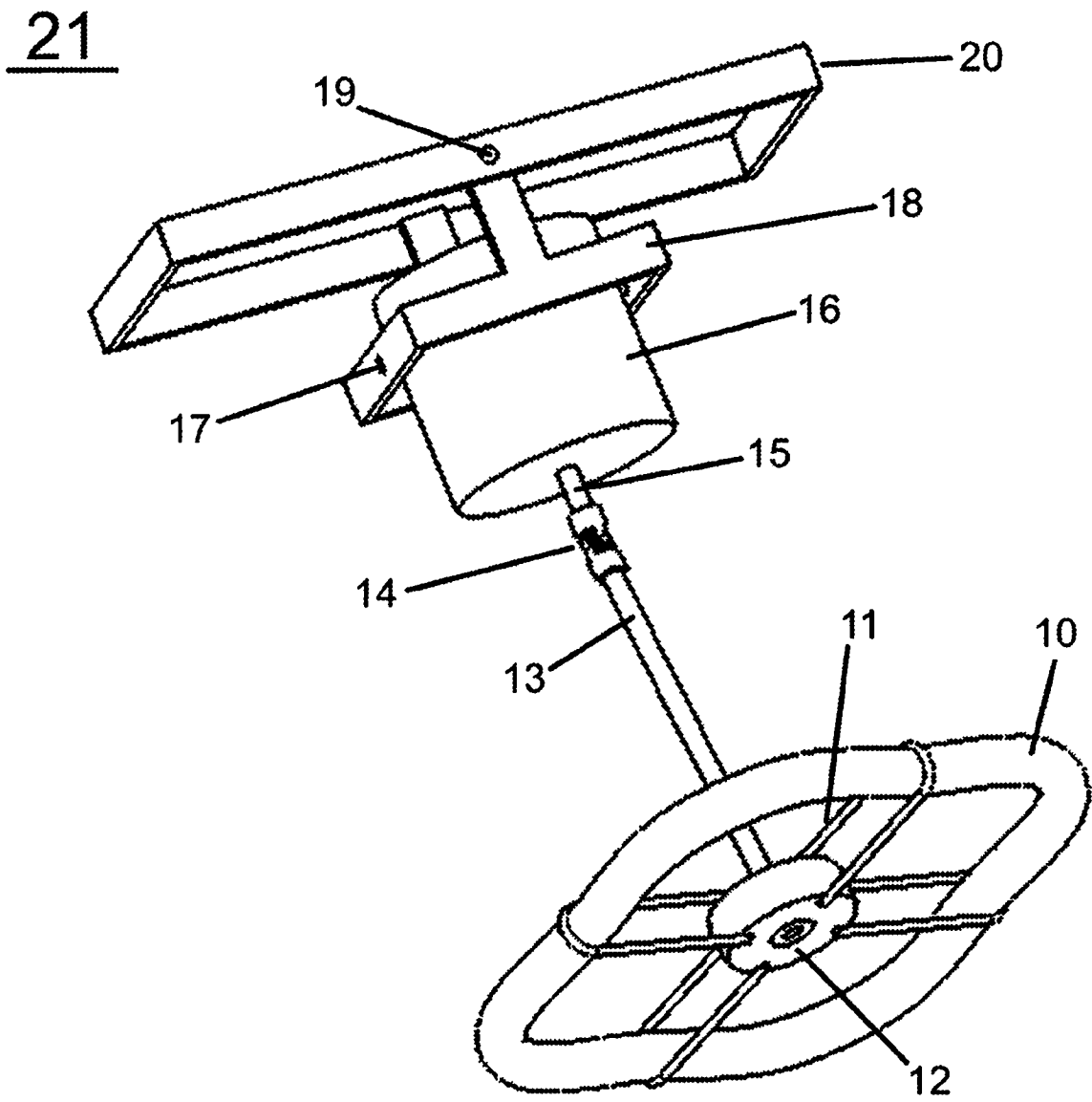


图 1

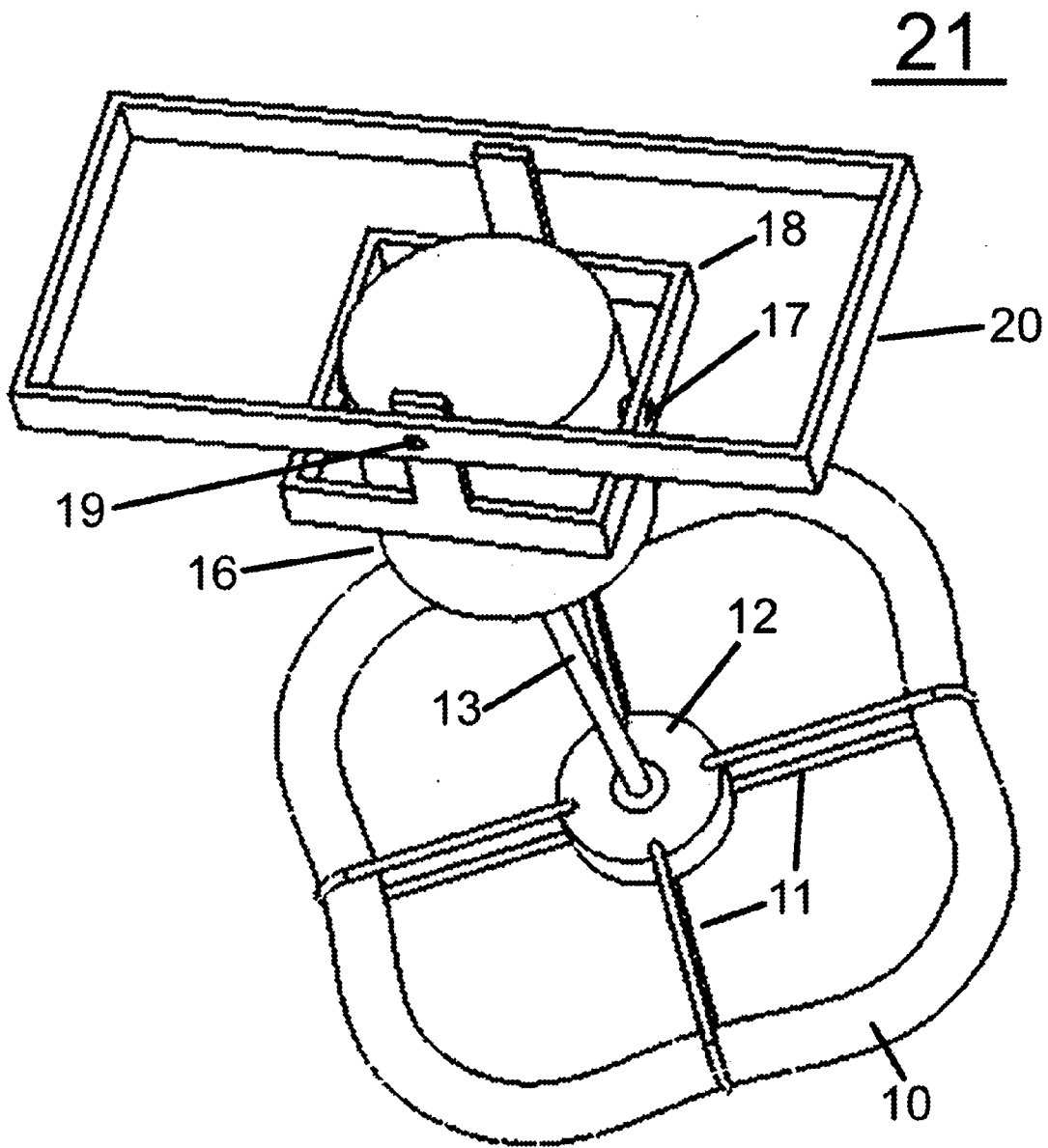


图 2

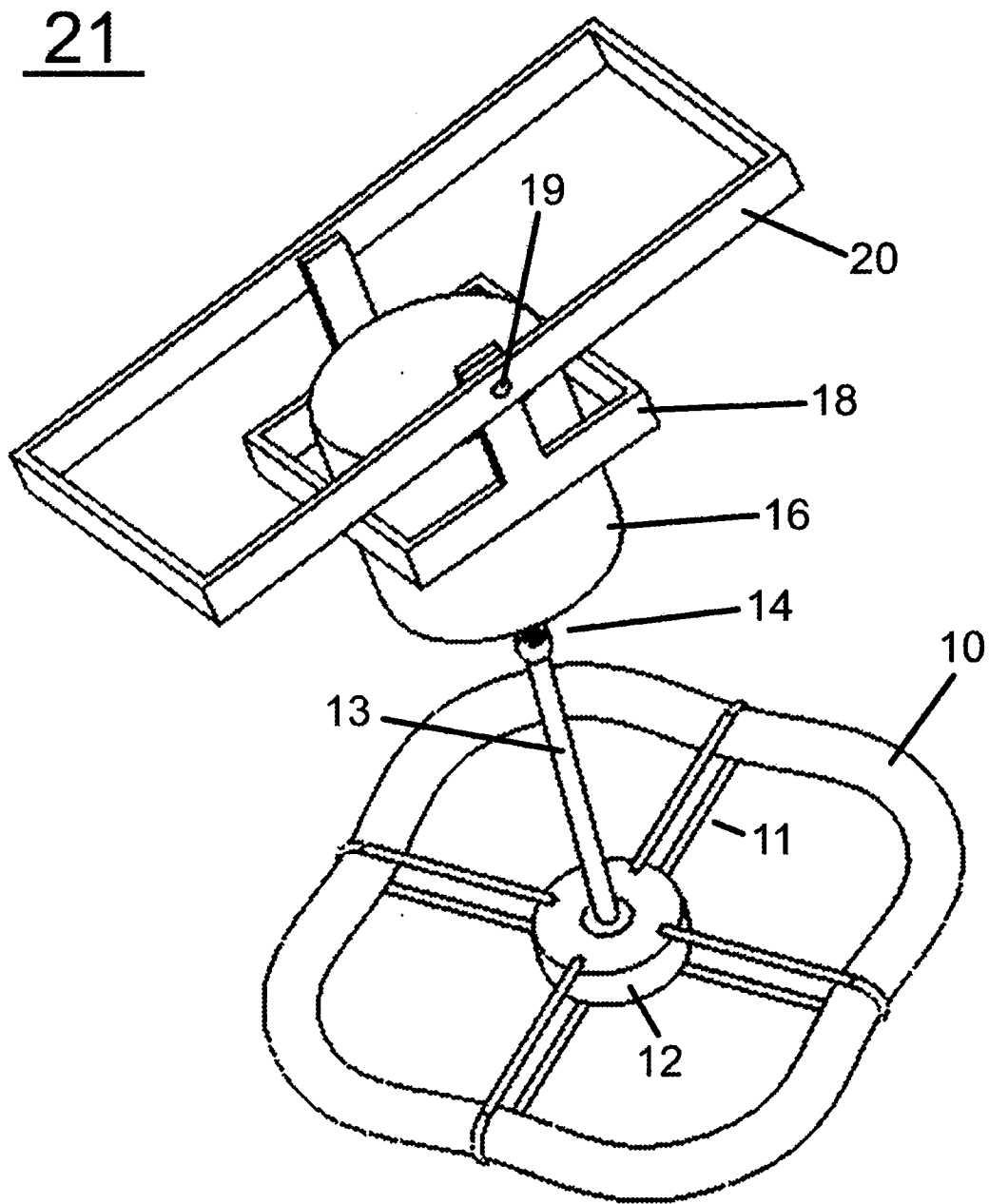


图 3

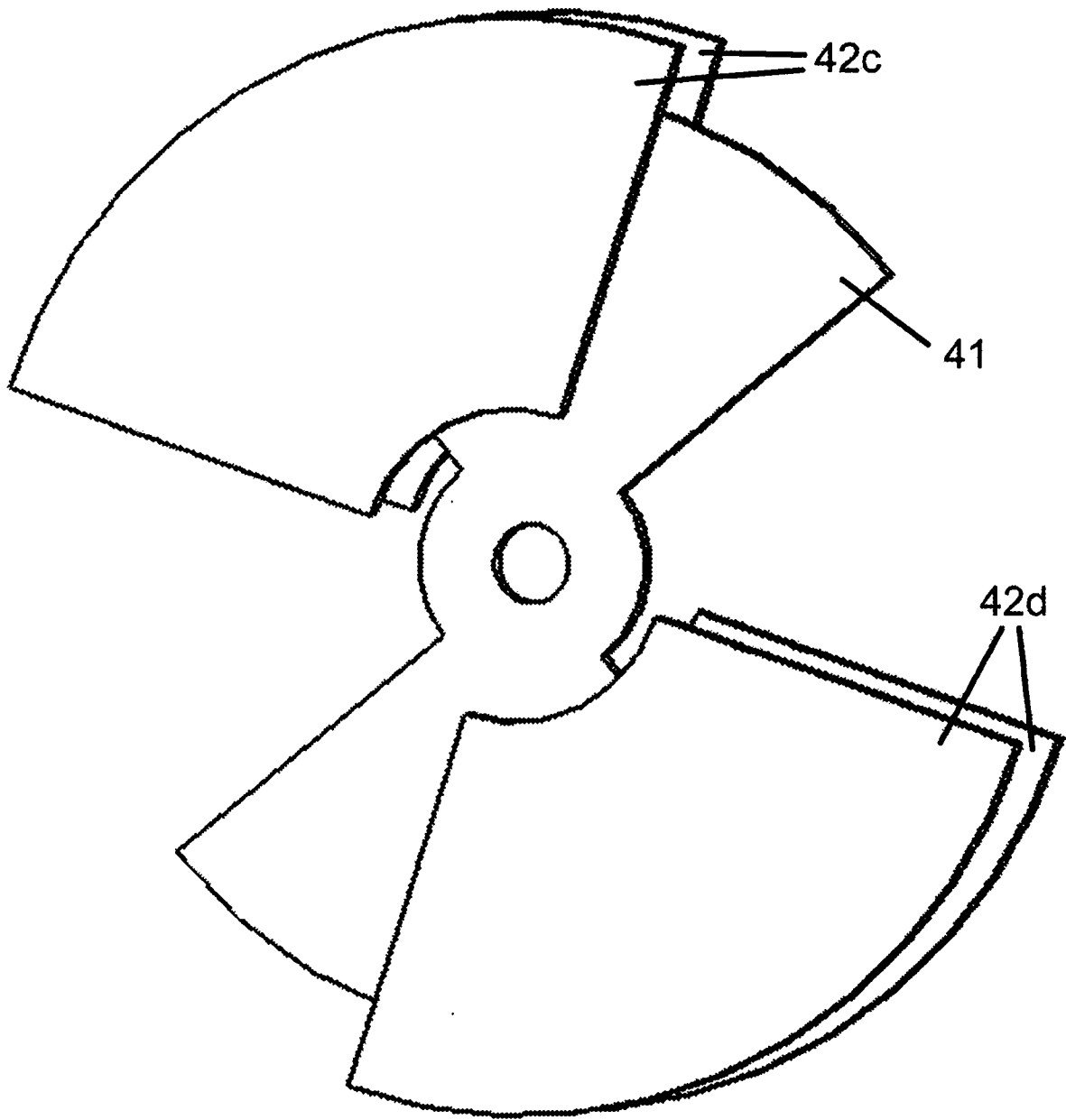


图 4

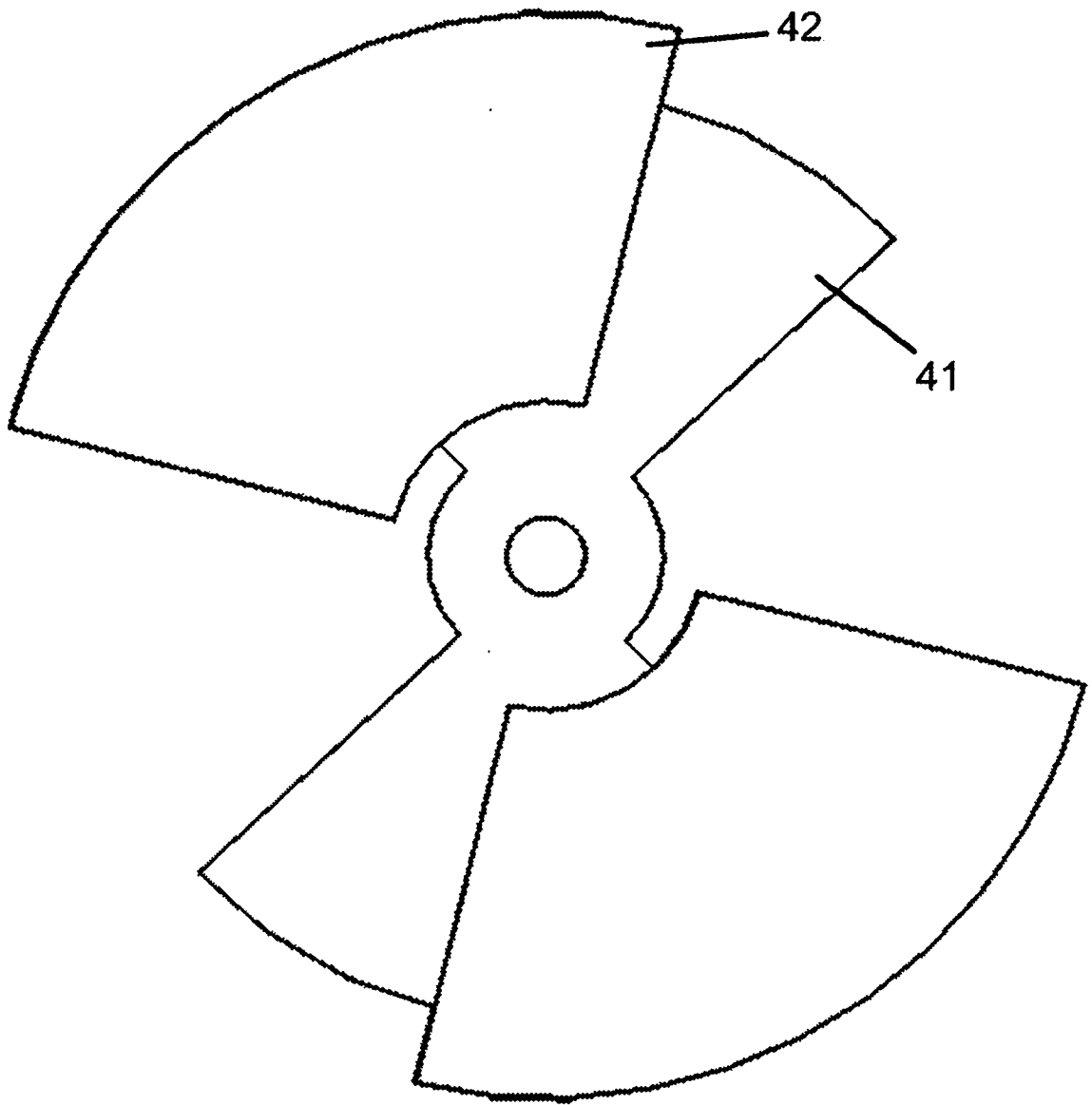


图 5

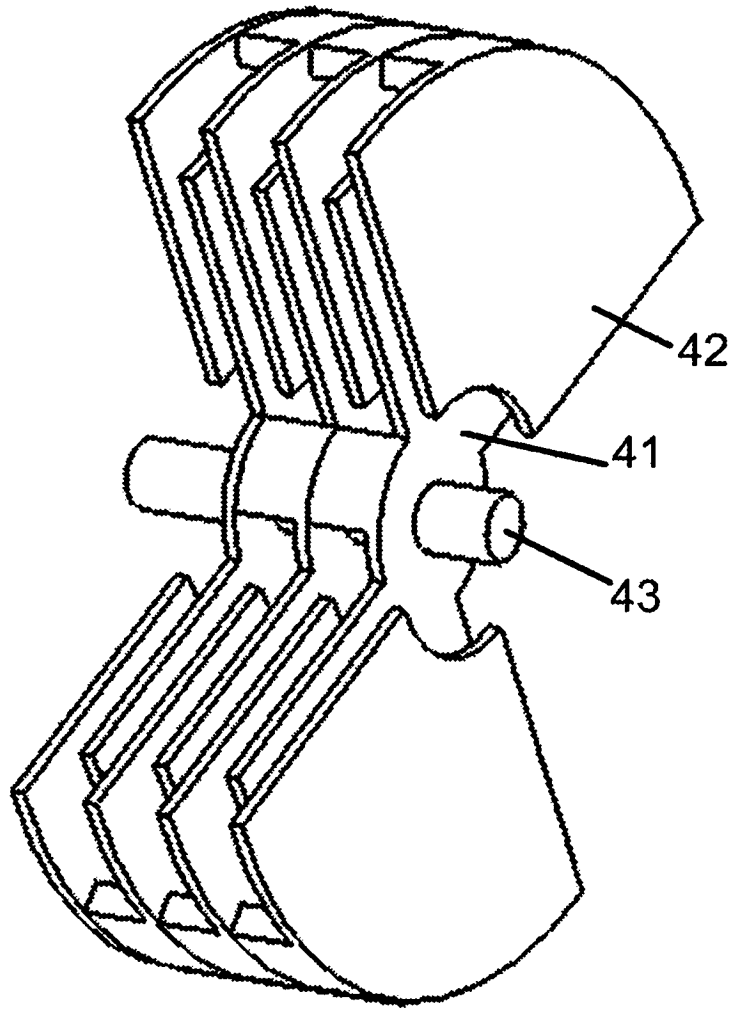


图 6

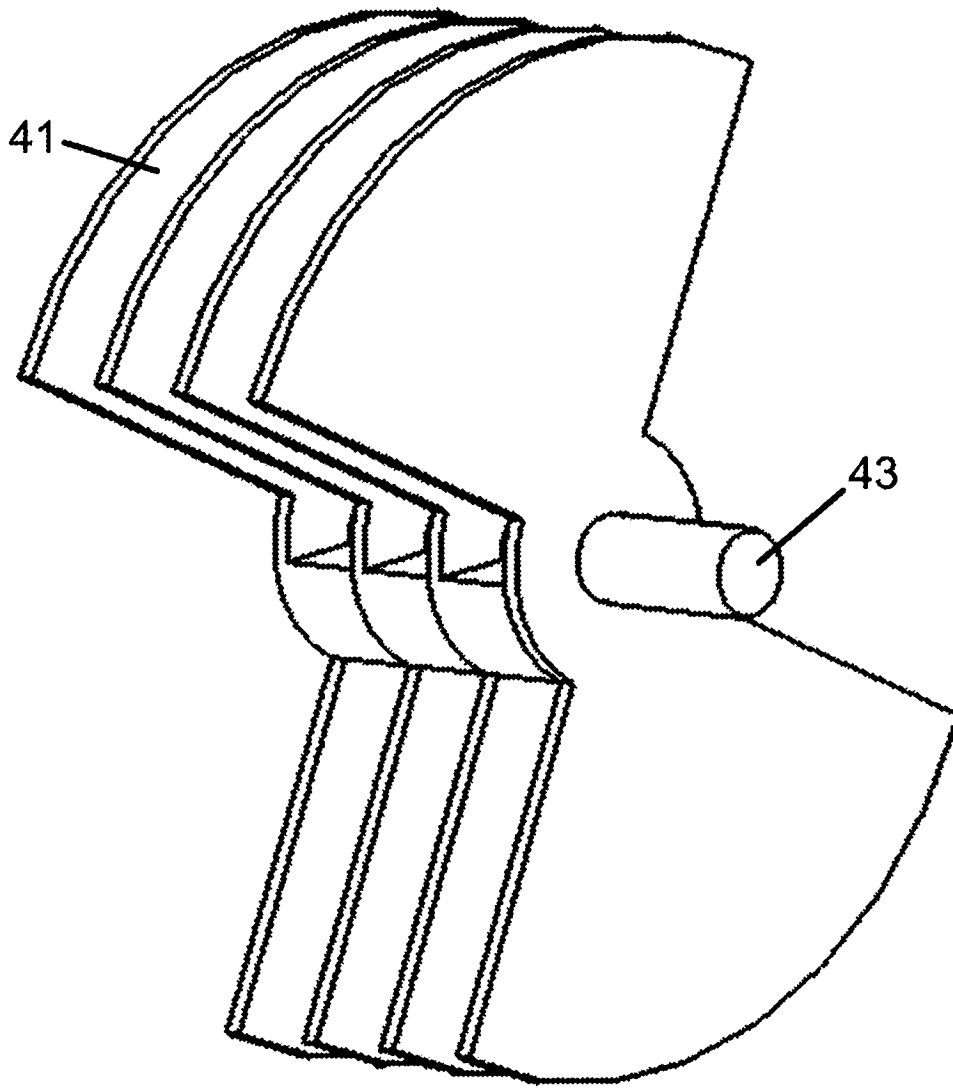


图 7

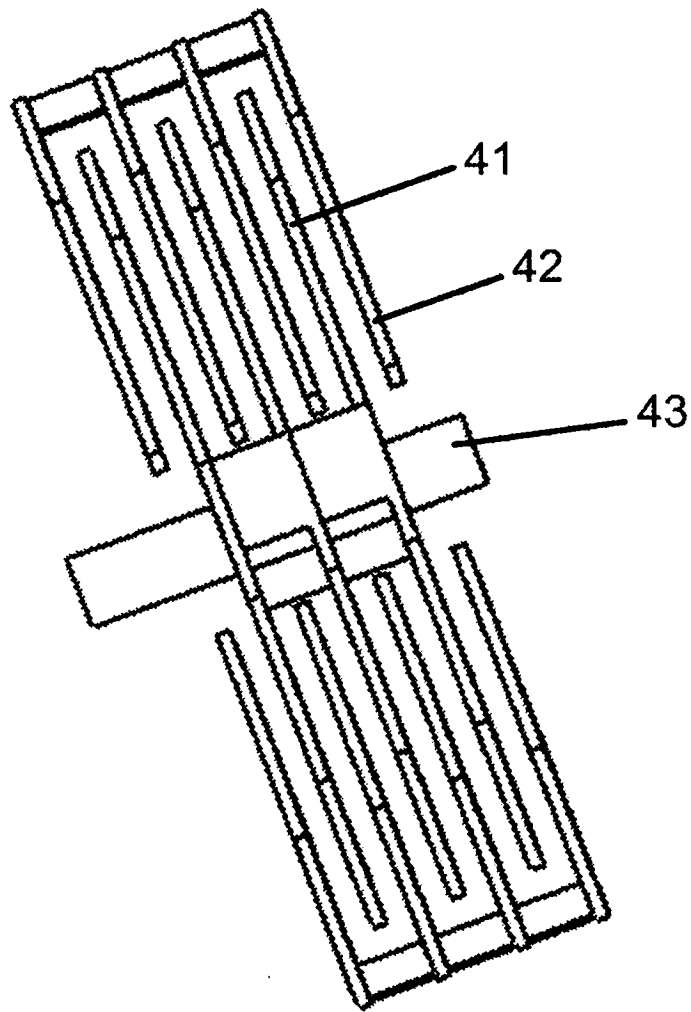


图 8

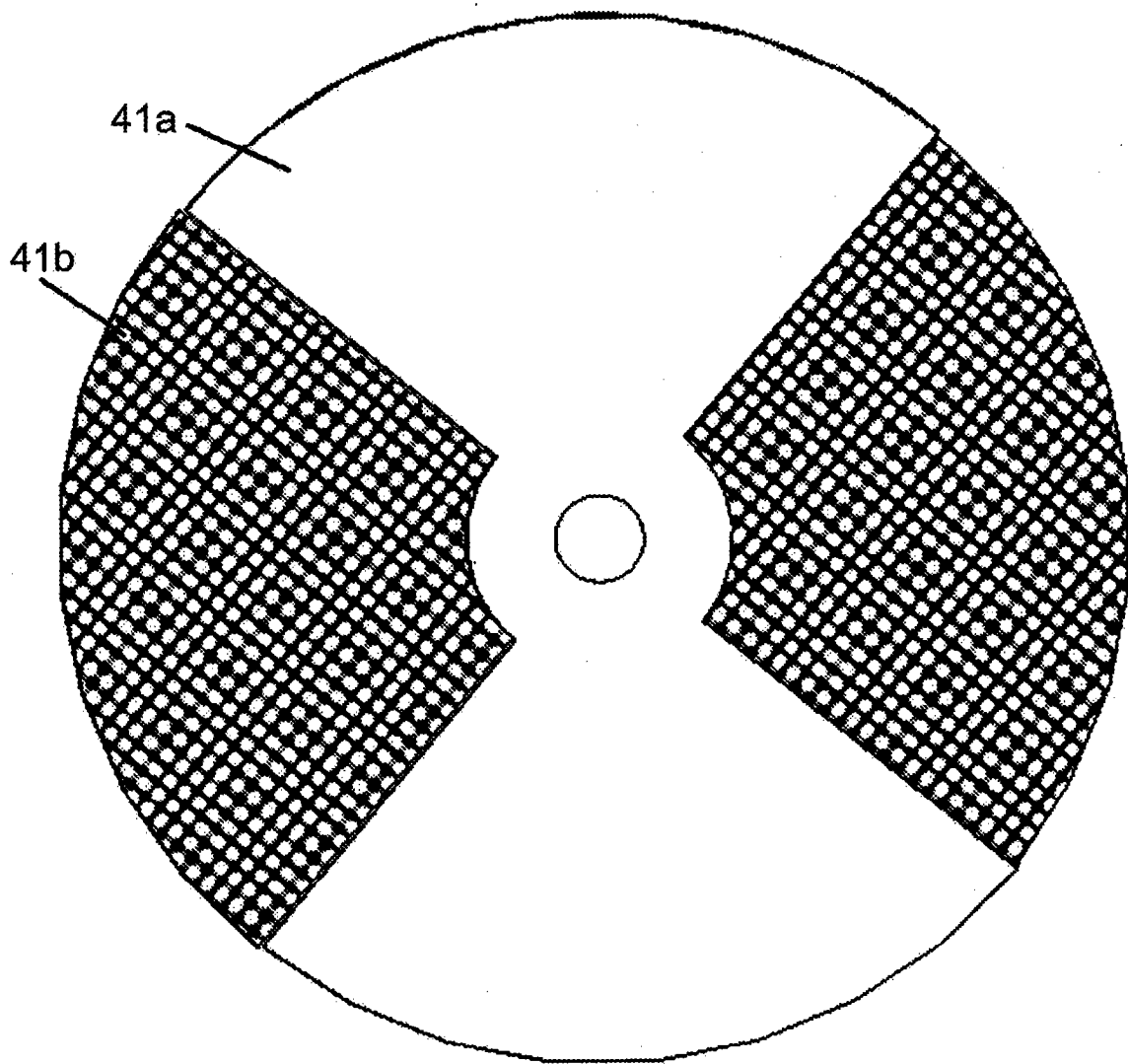


图 9

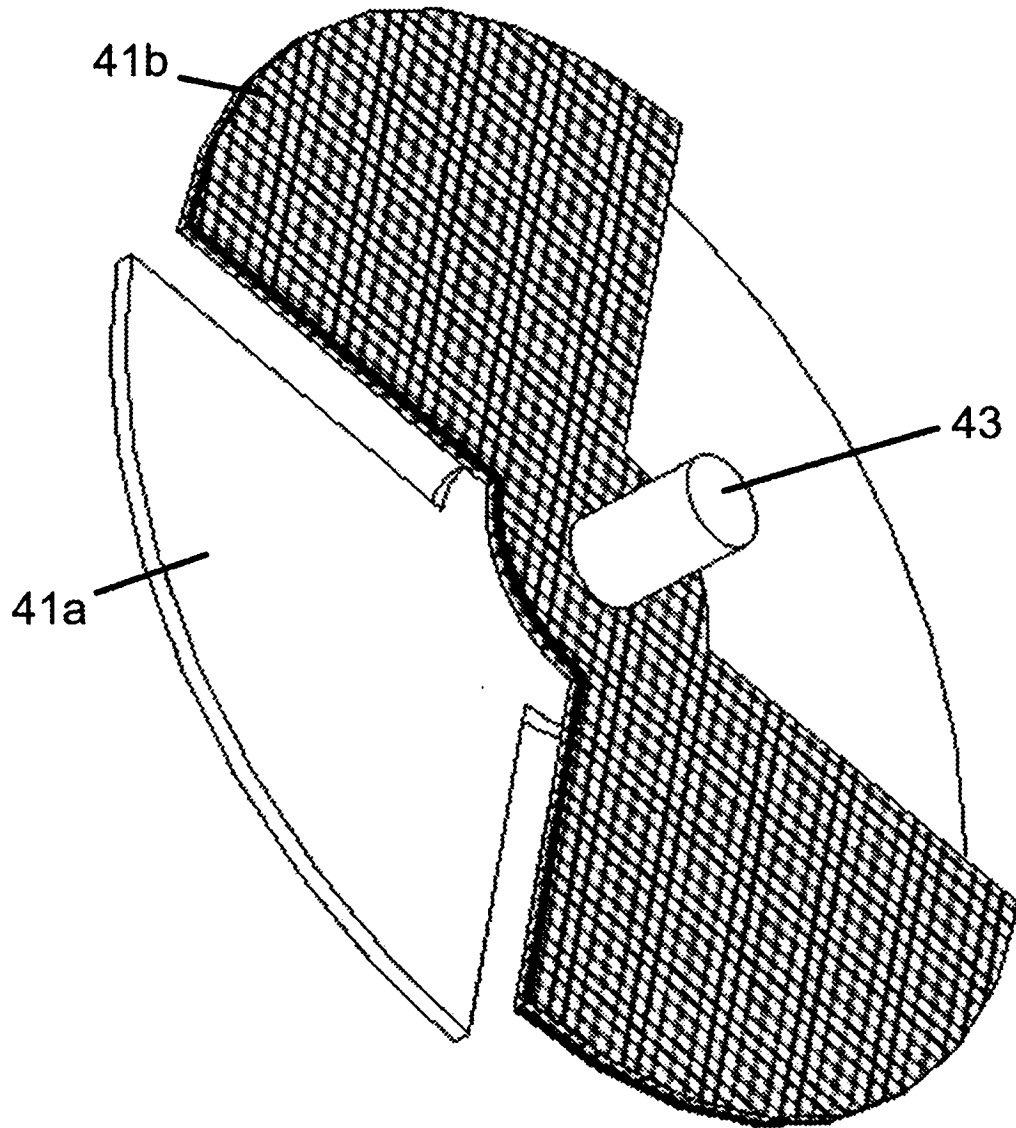


图 10

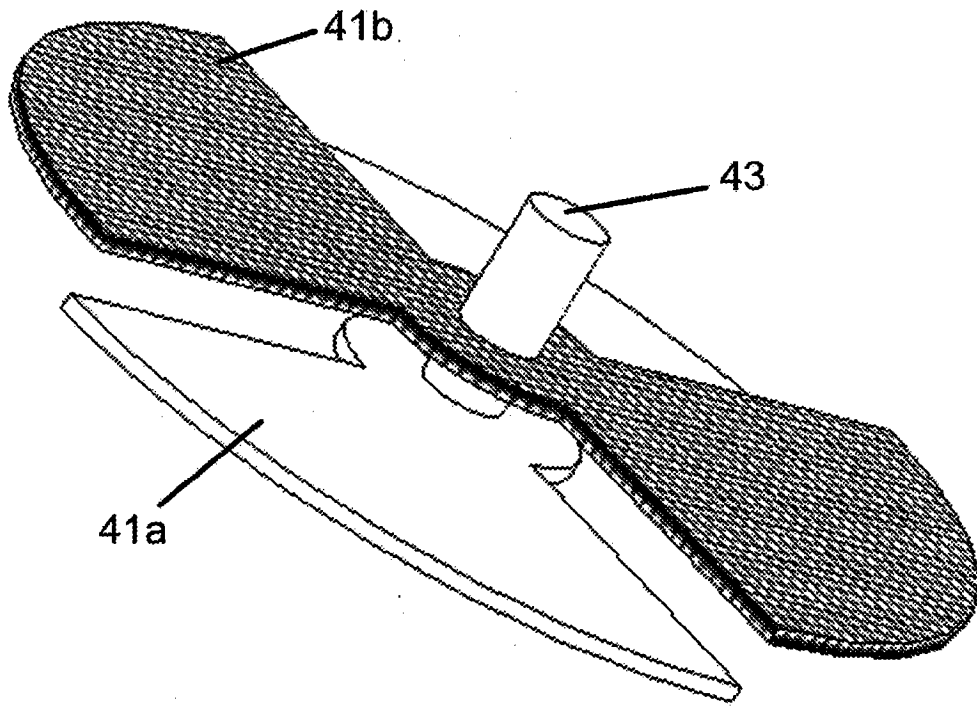


图 11

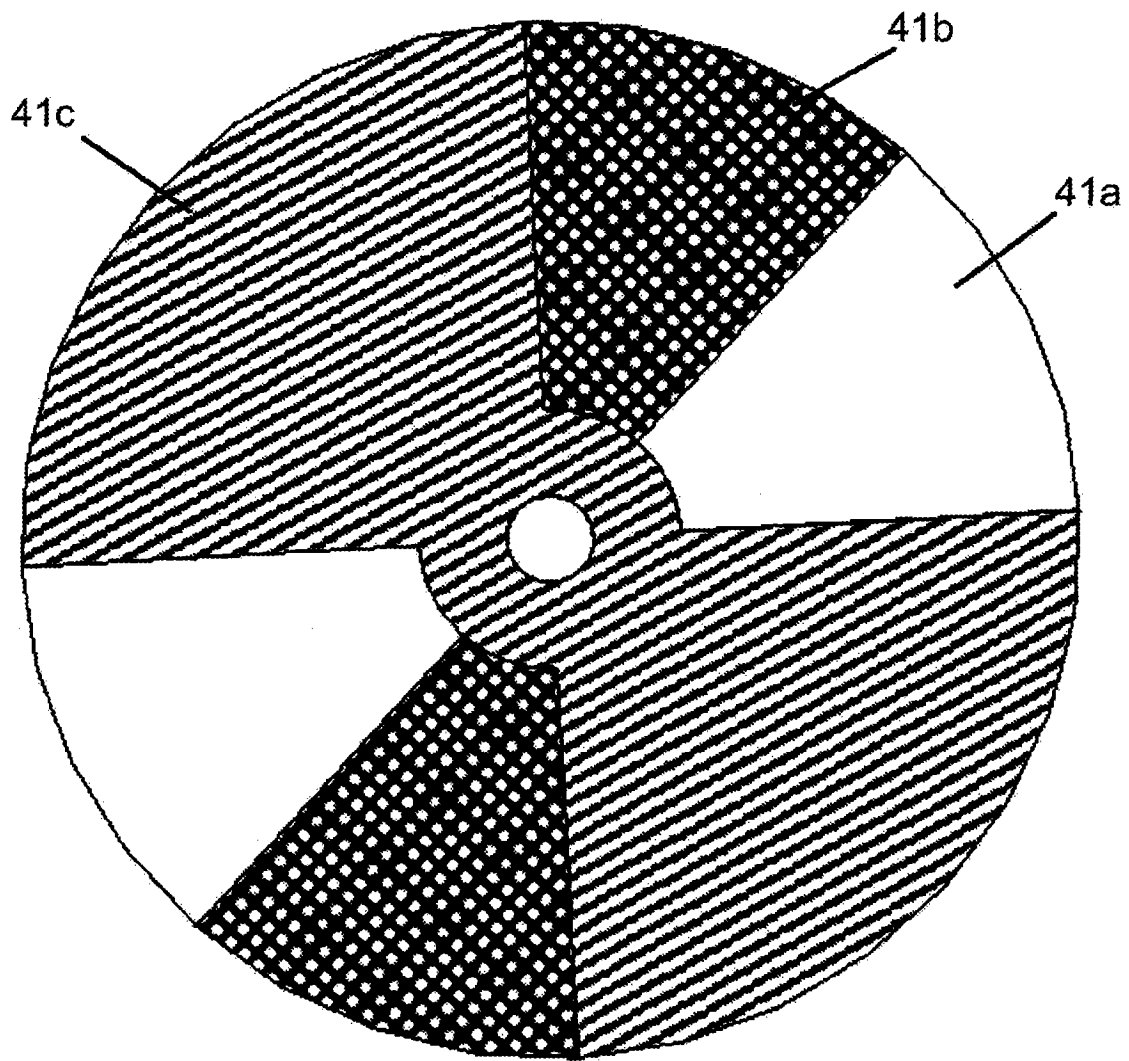


图 12

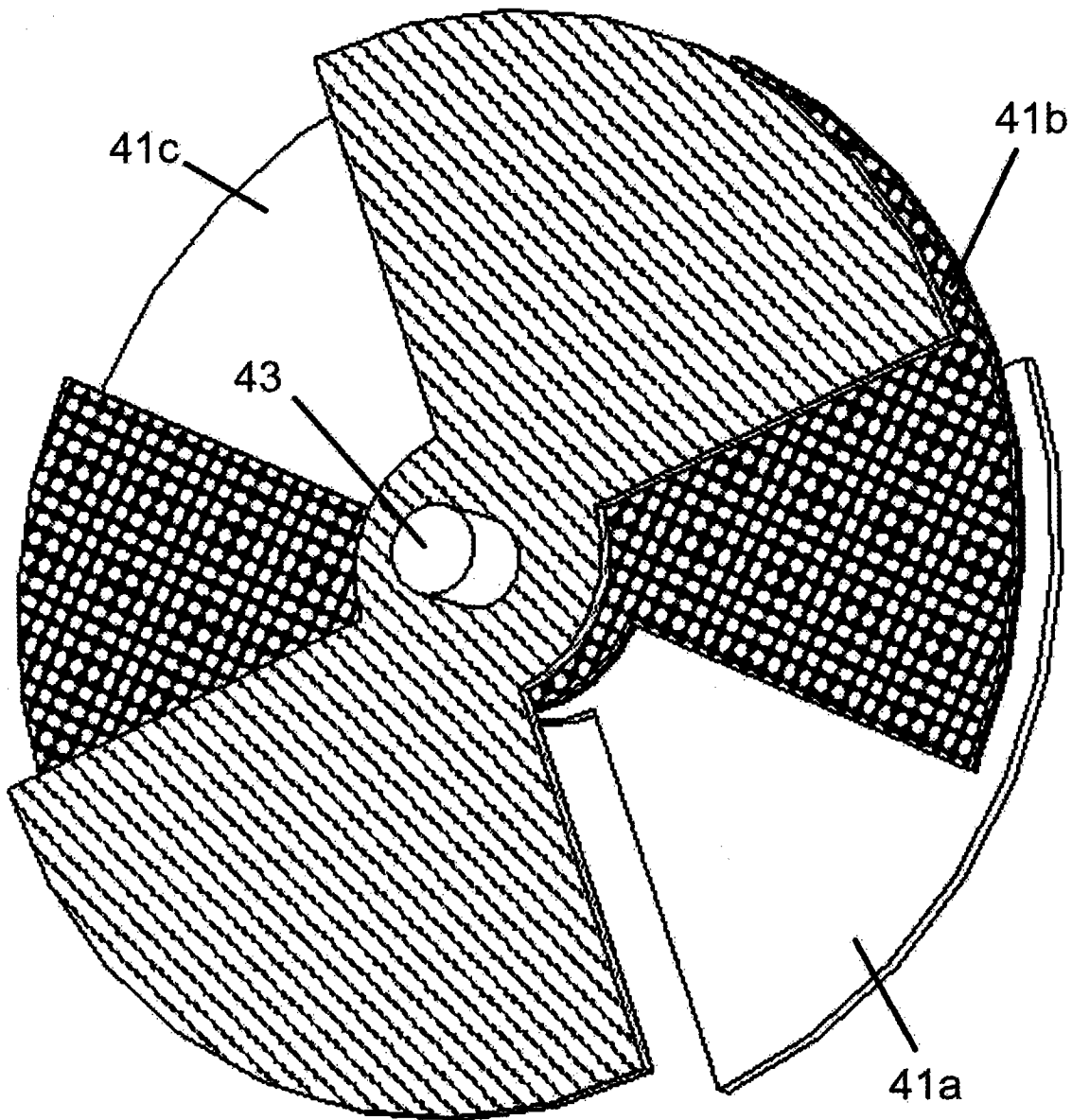


图 13

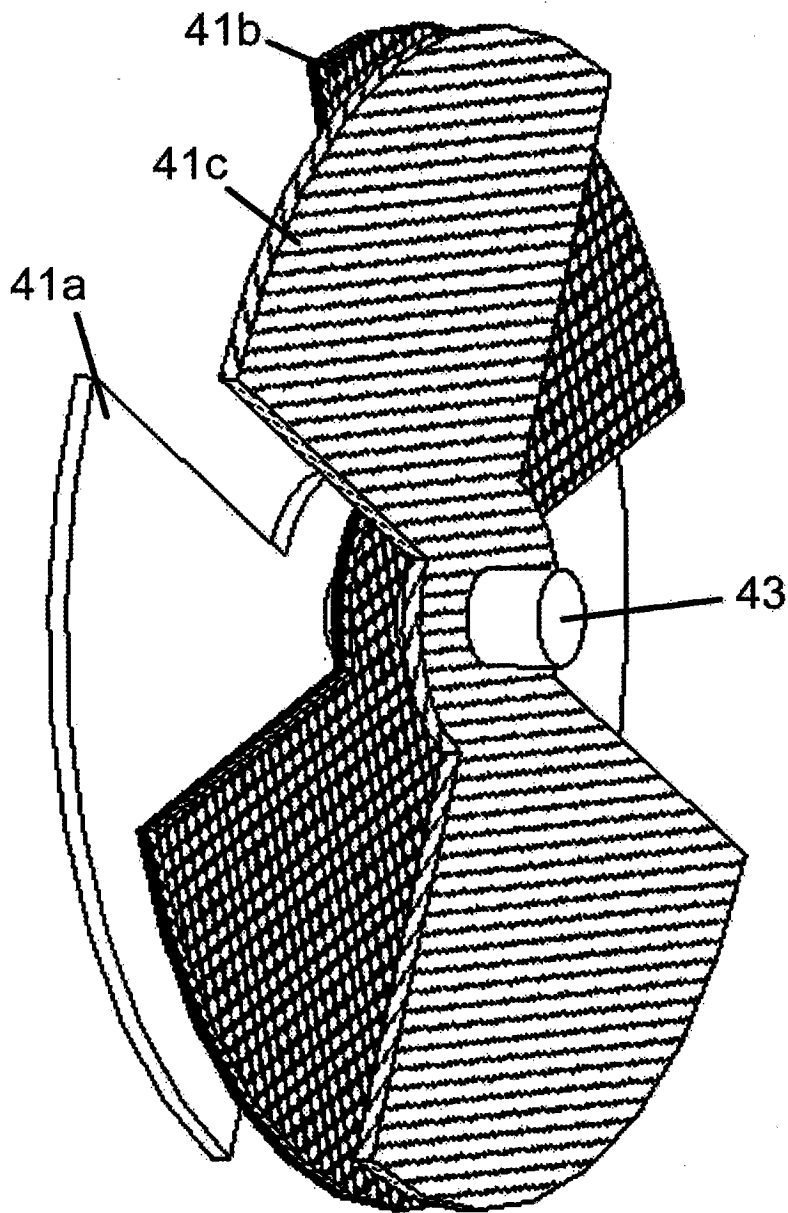


图 14

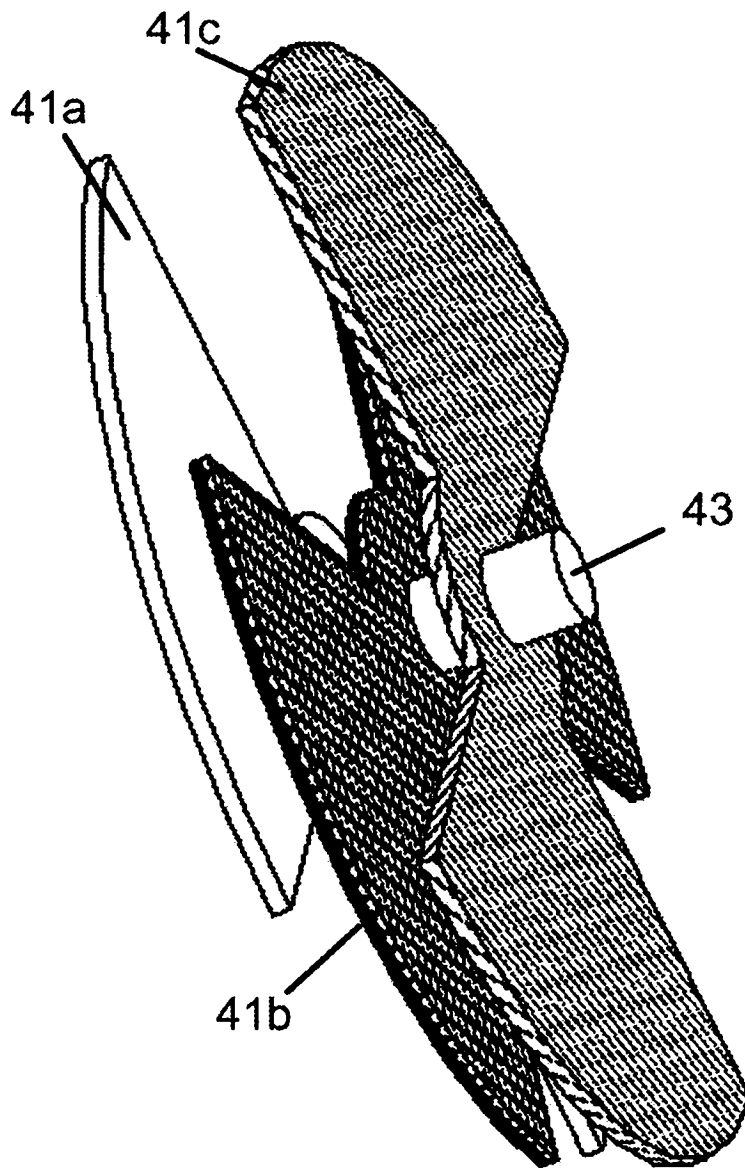


图 15

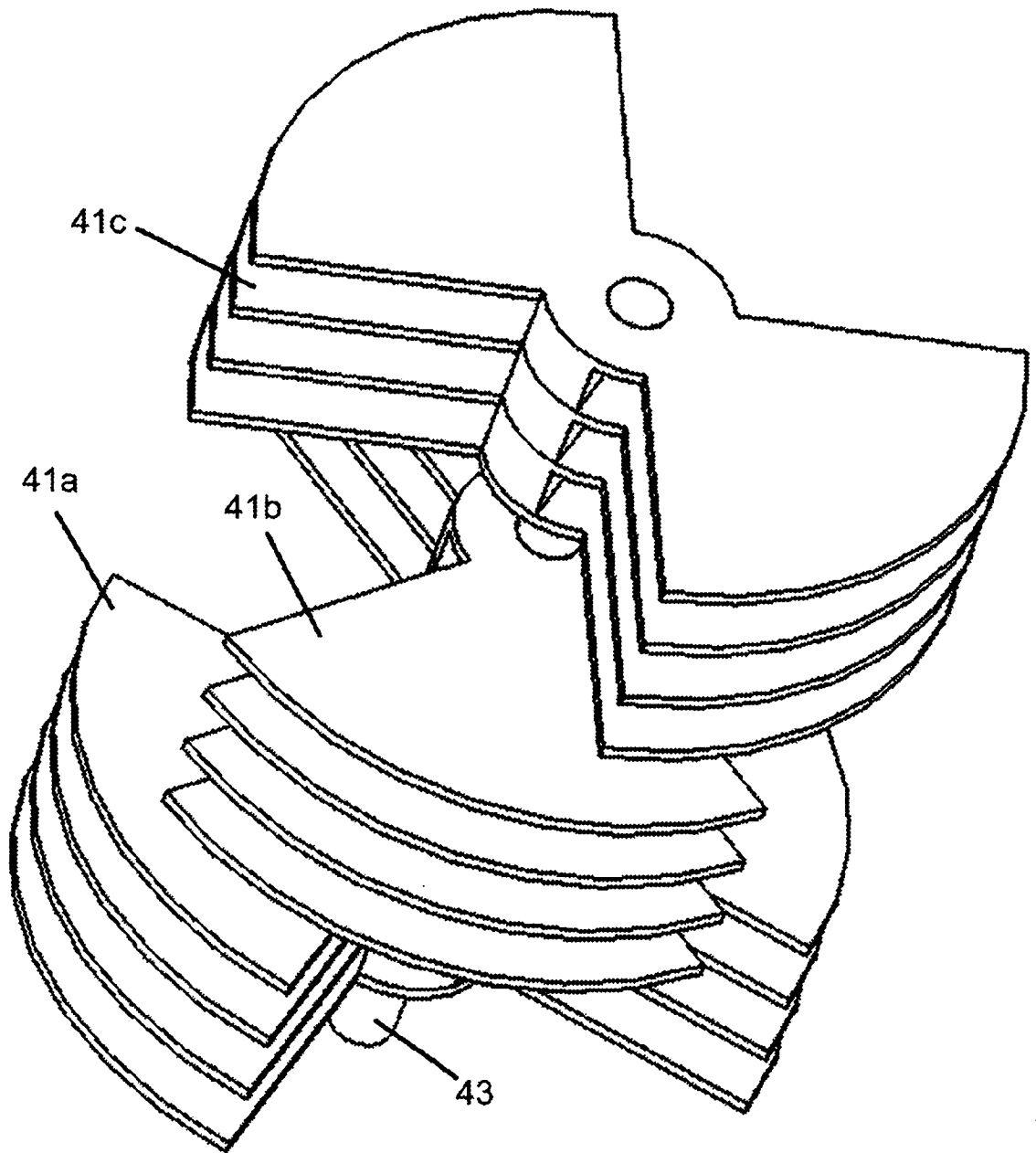


图 16

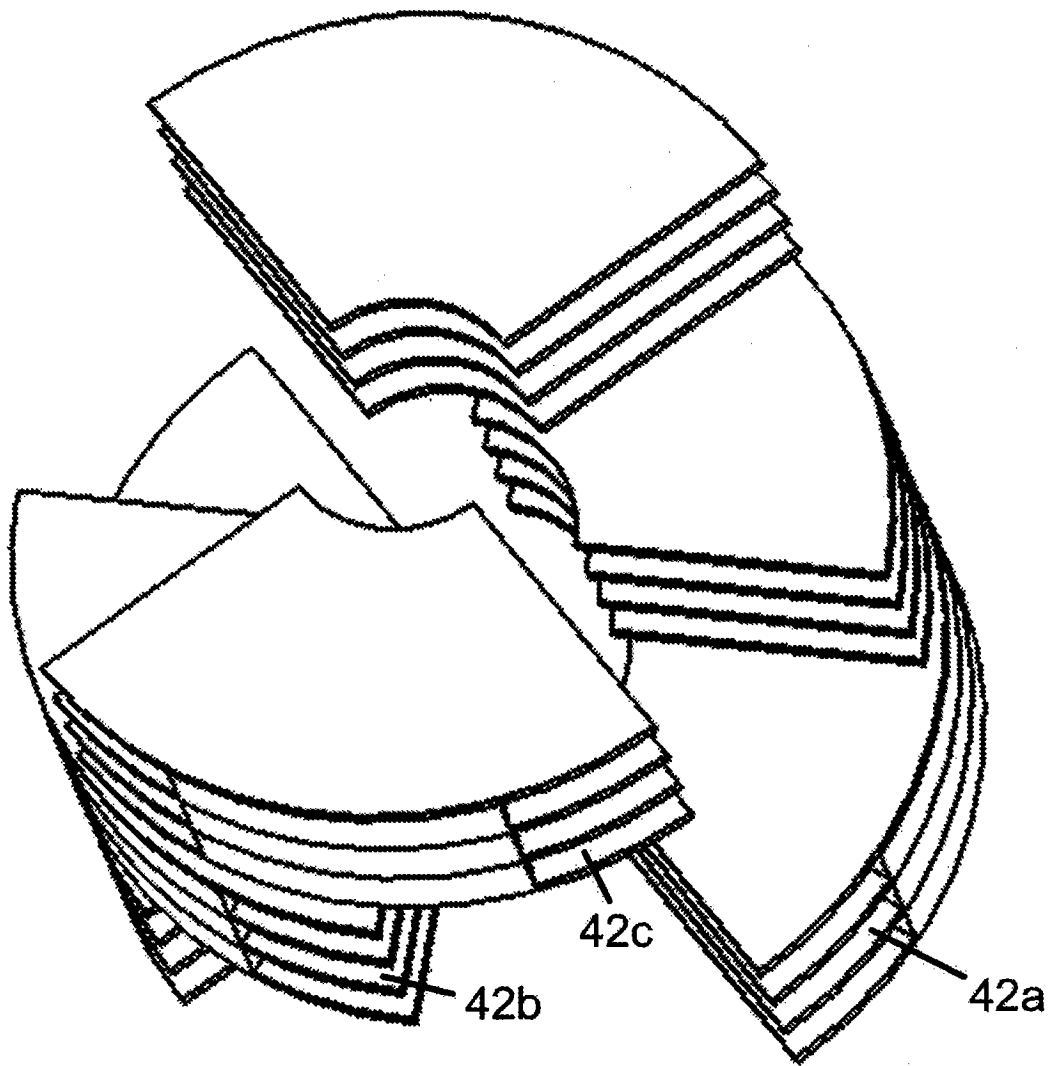


图 17

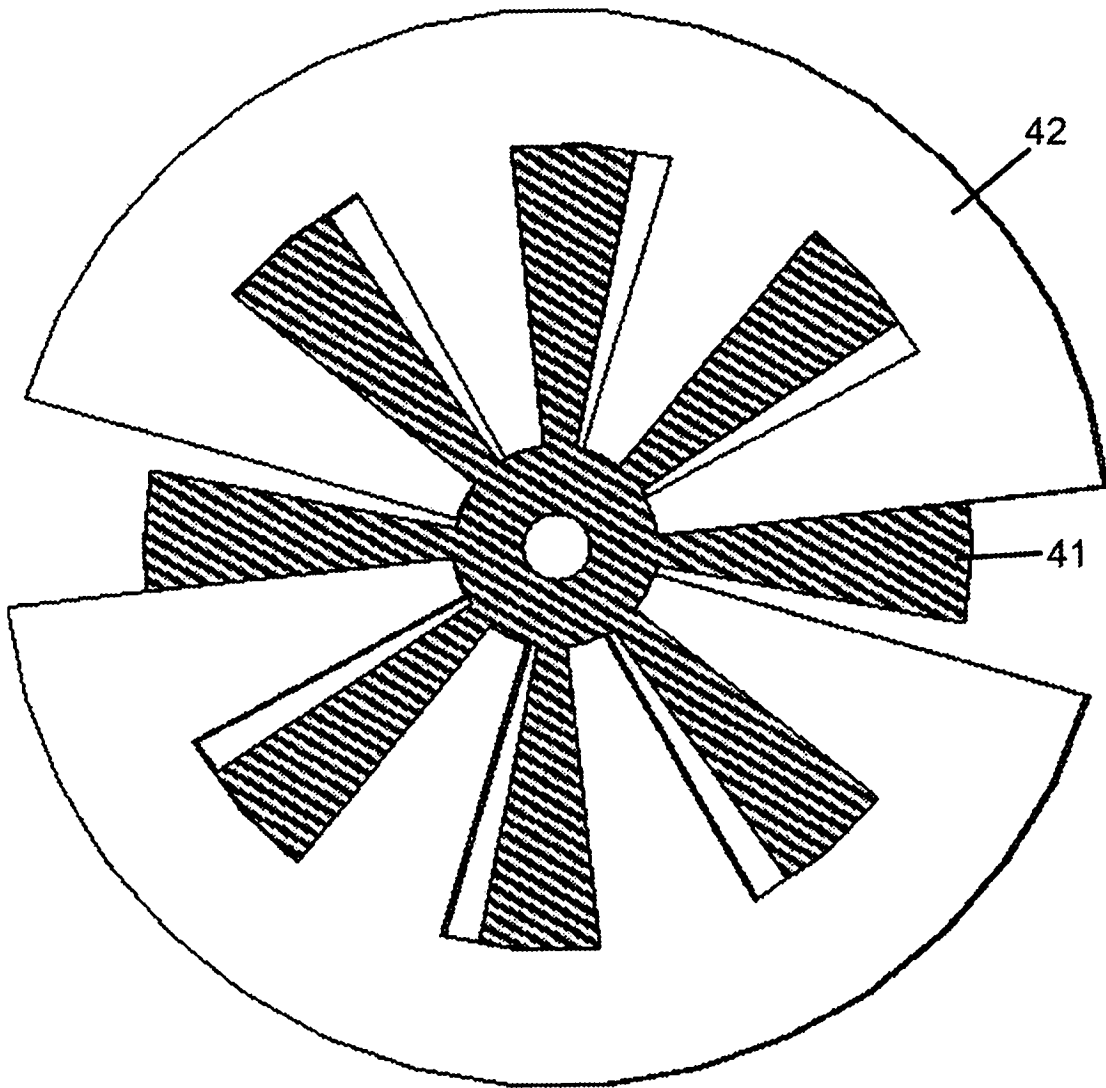


图 18

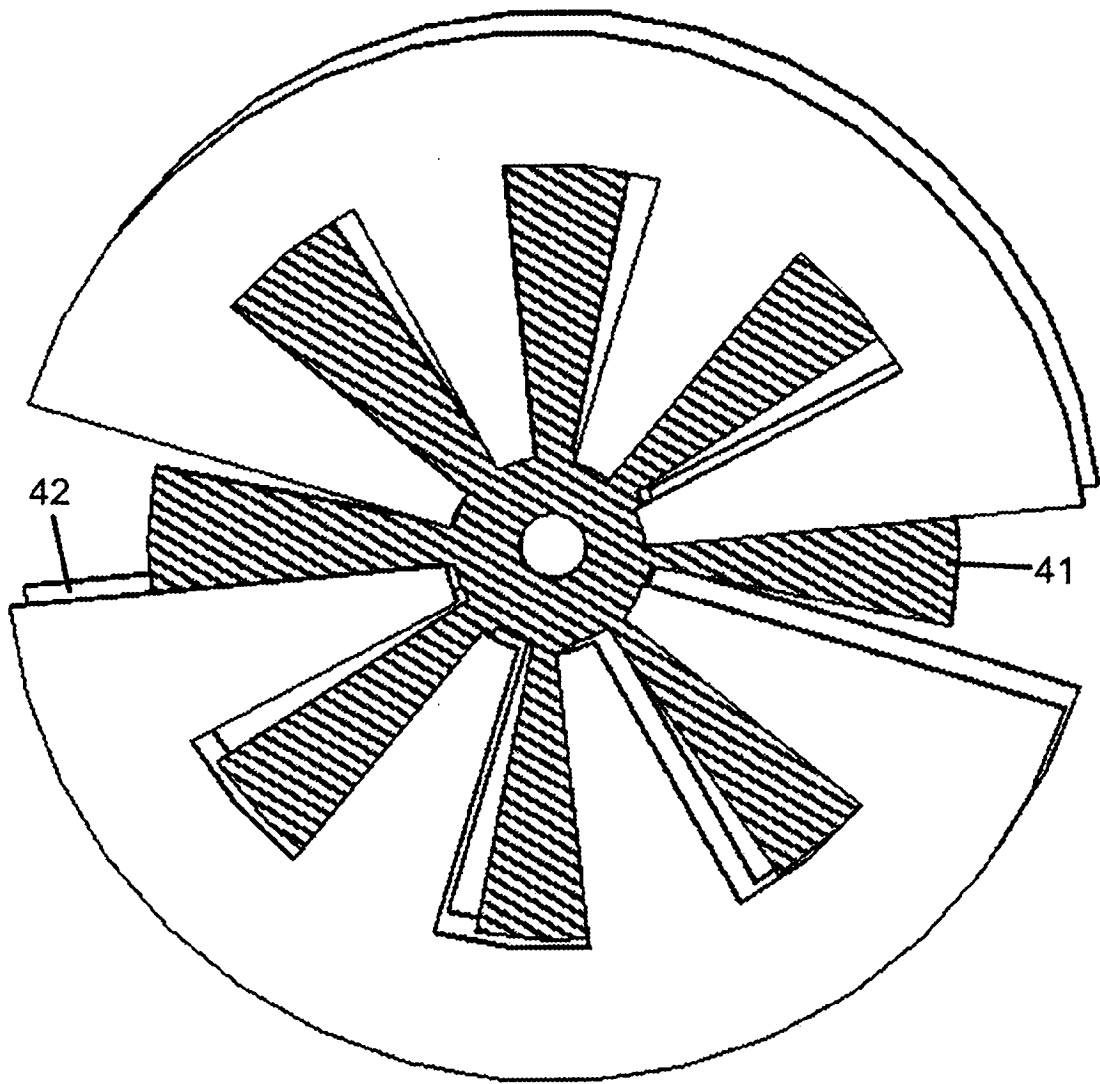


图 19

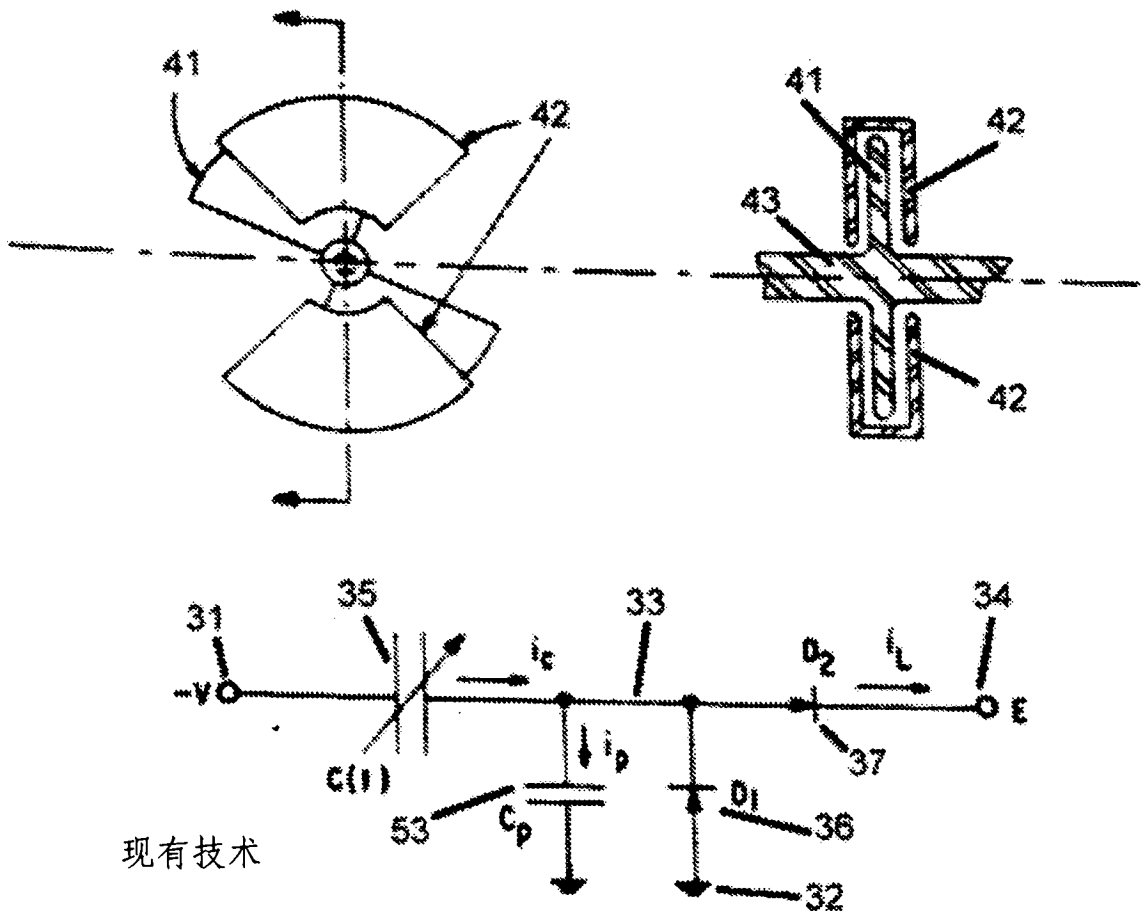


图 20

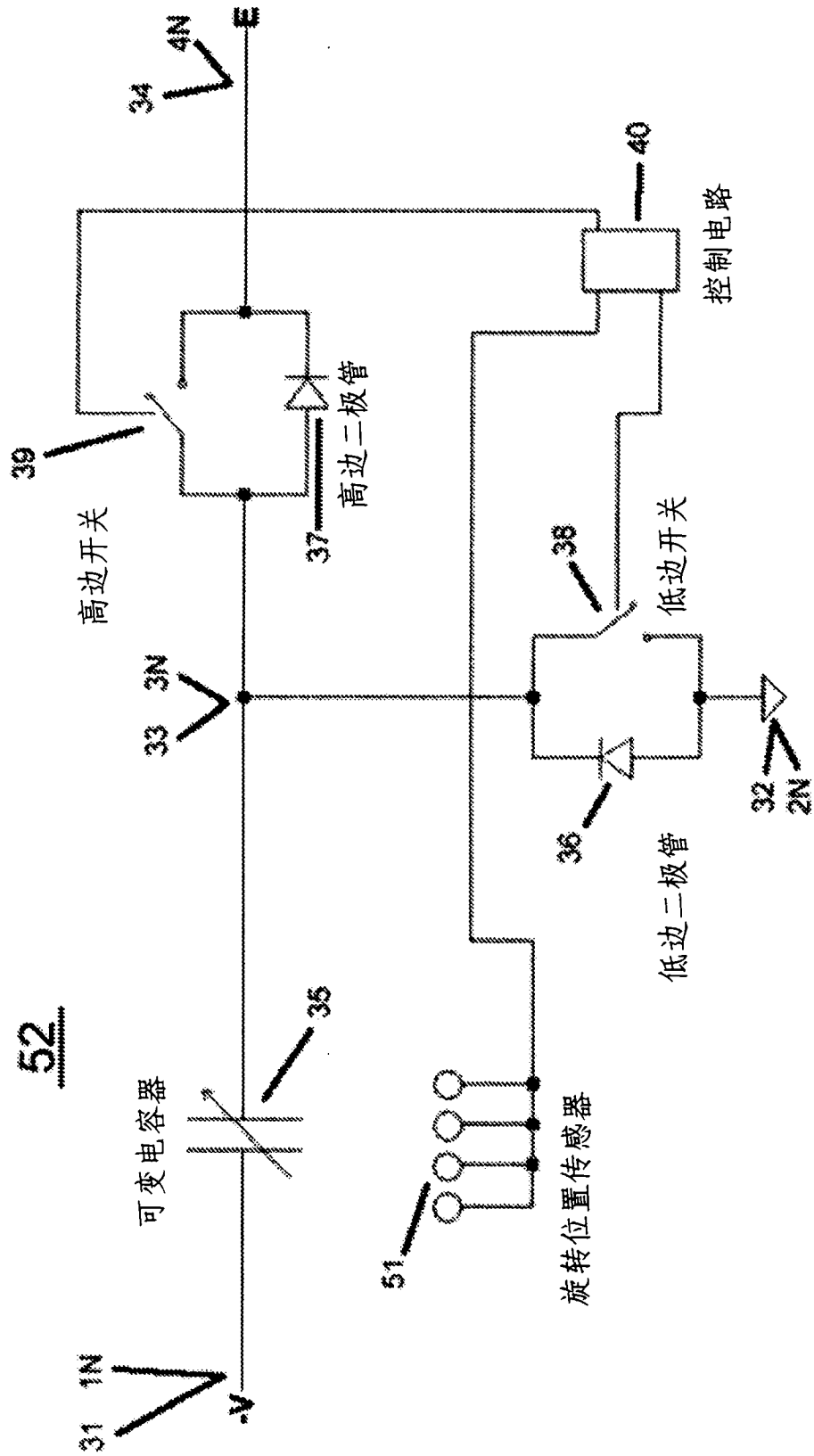


图 21

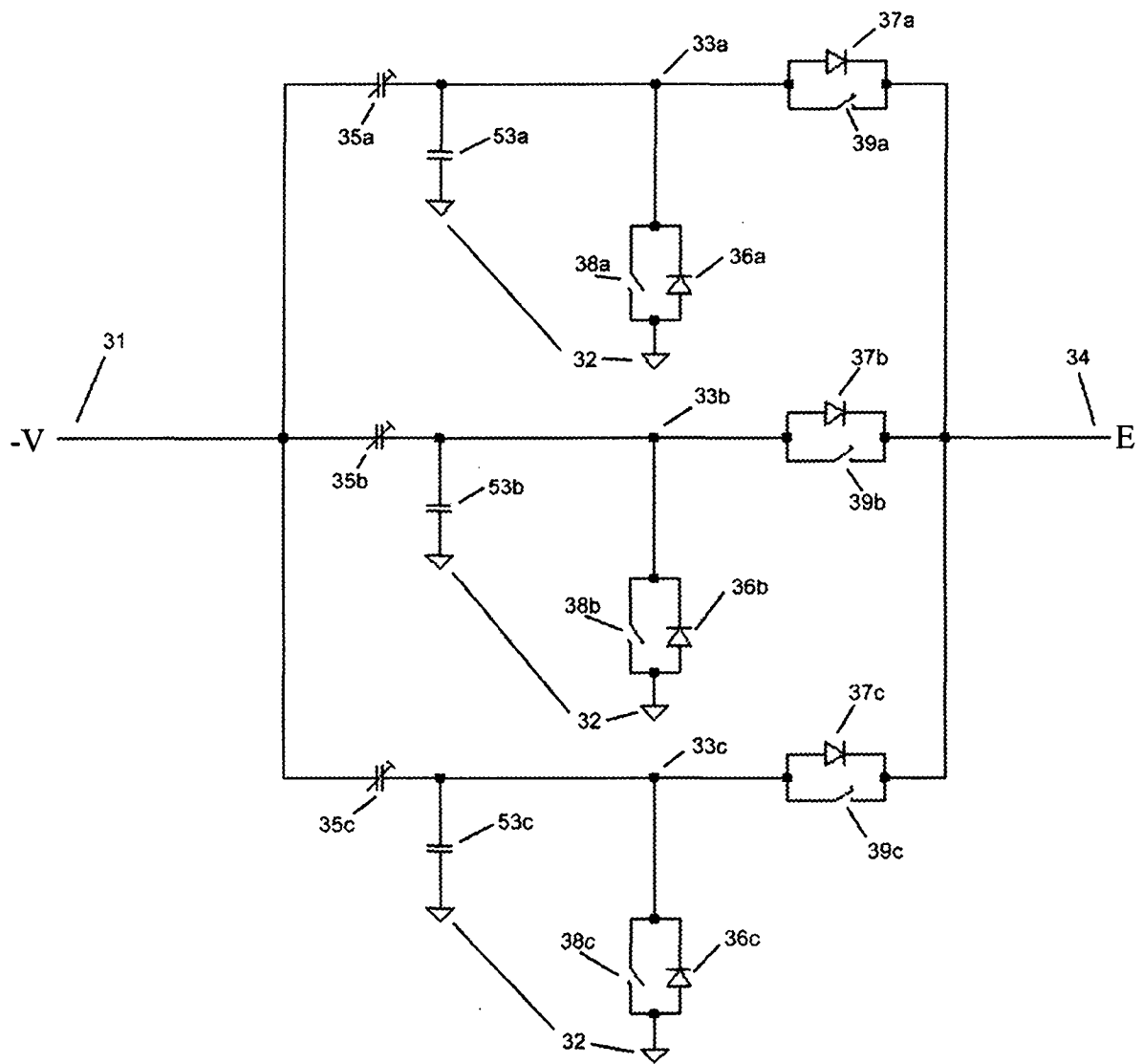


图 22

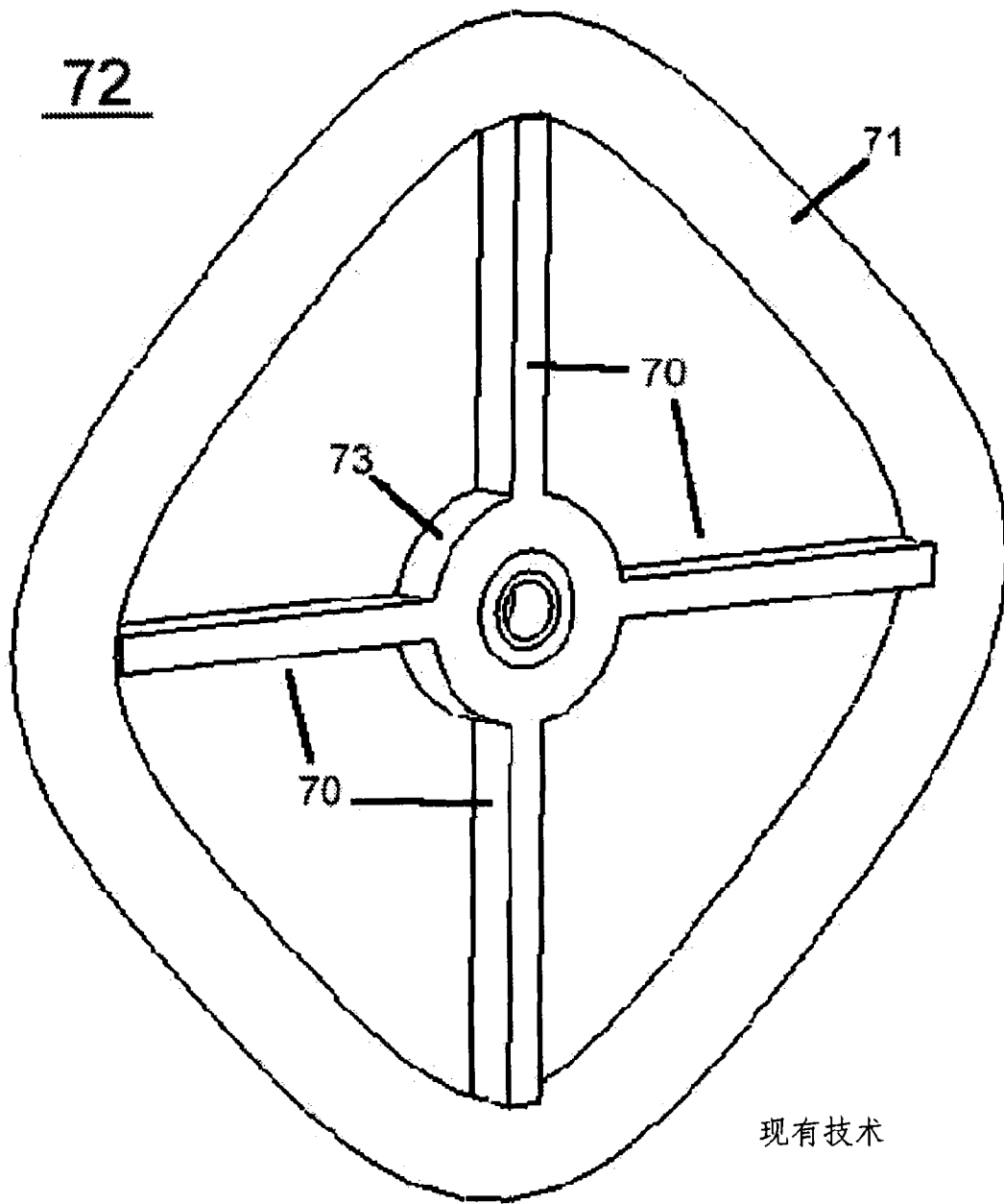


图 23

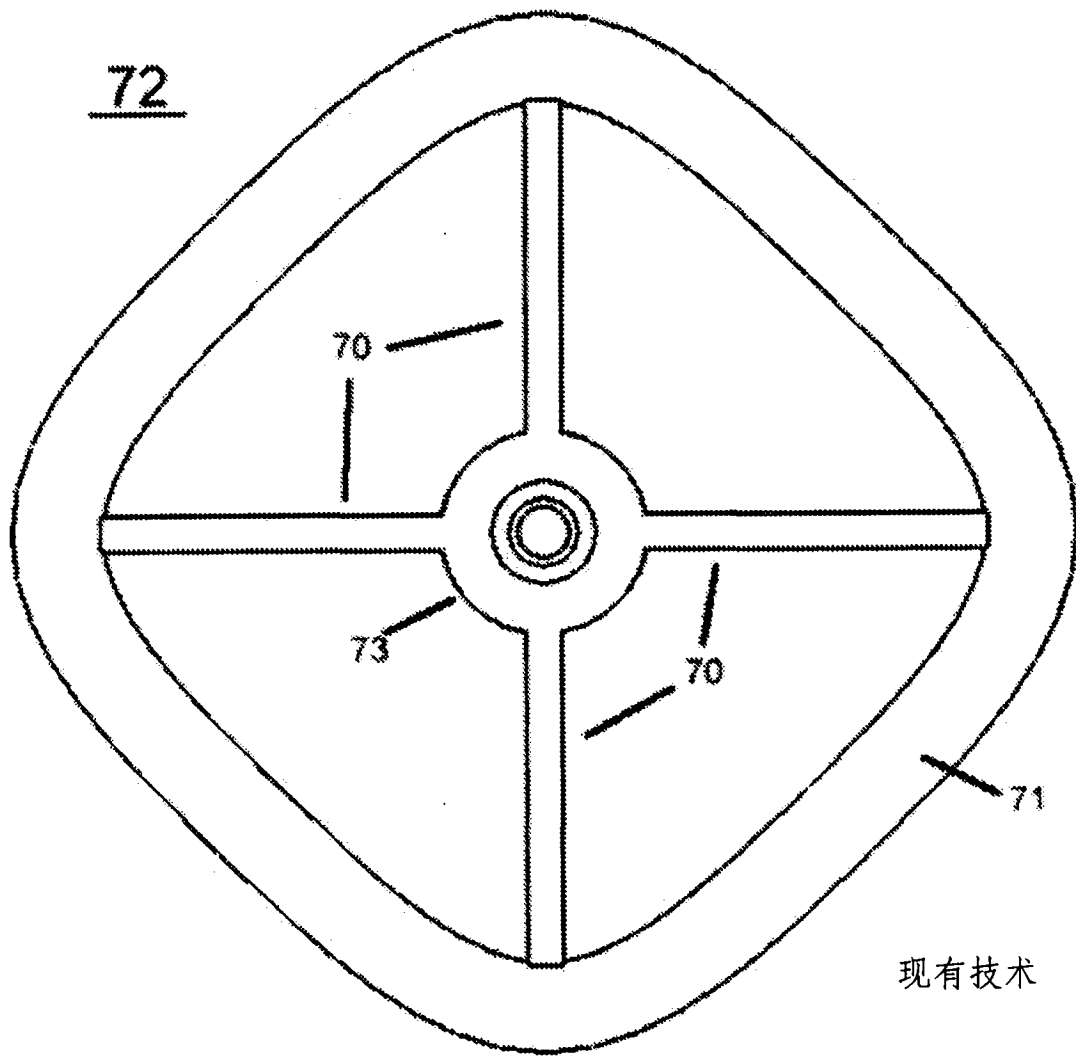


图 24

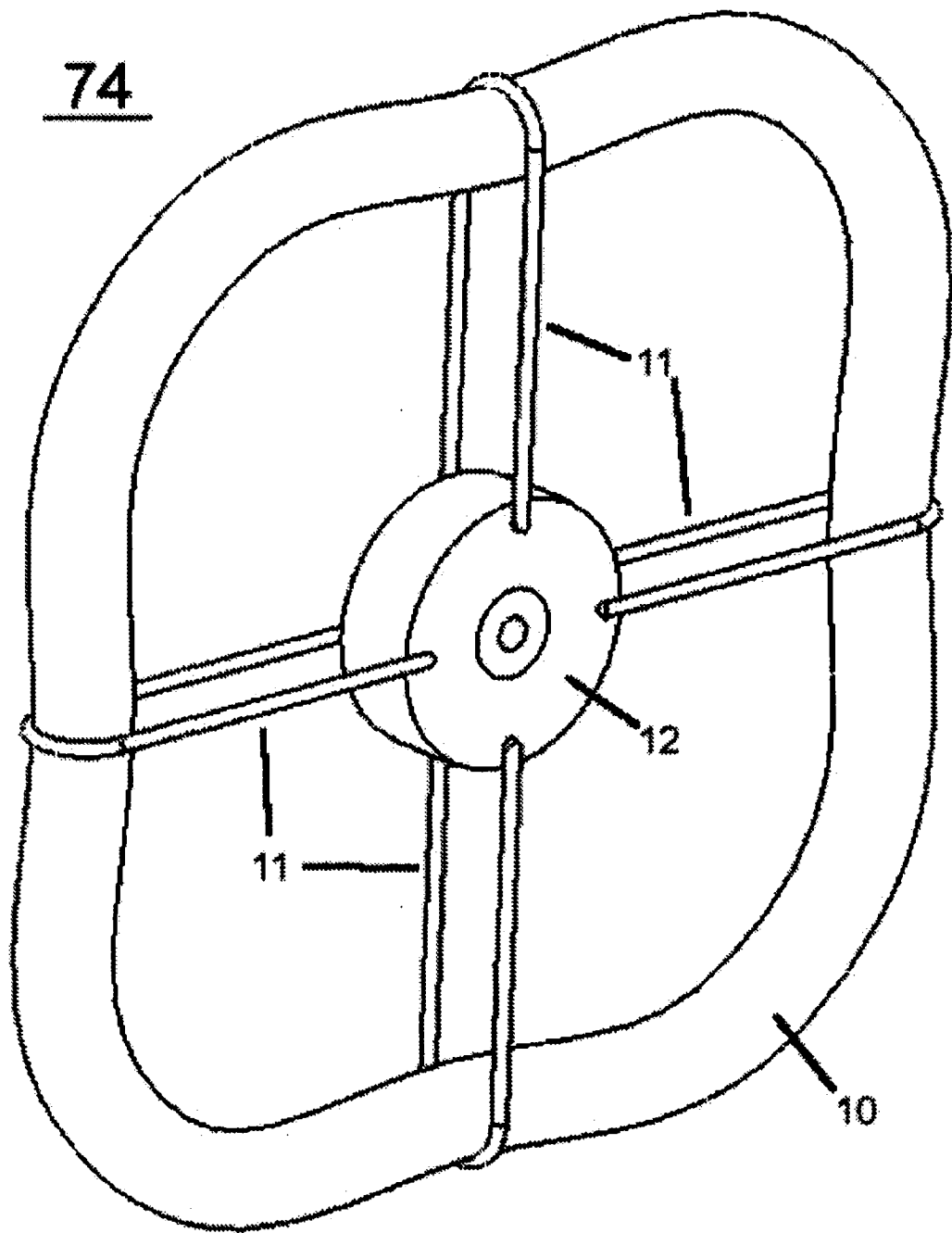


图 25

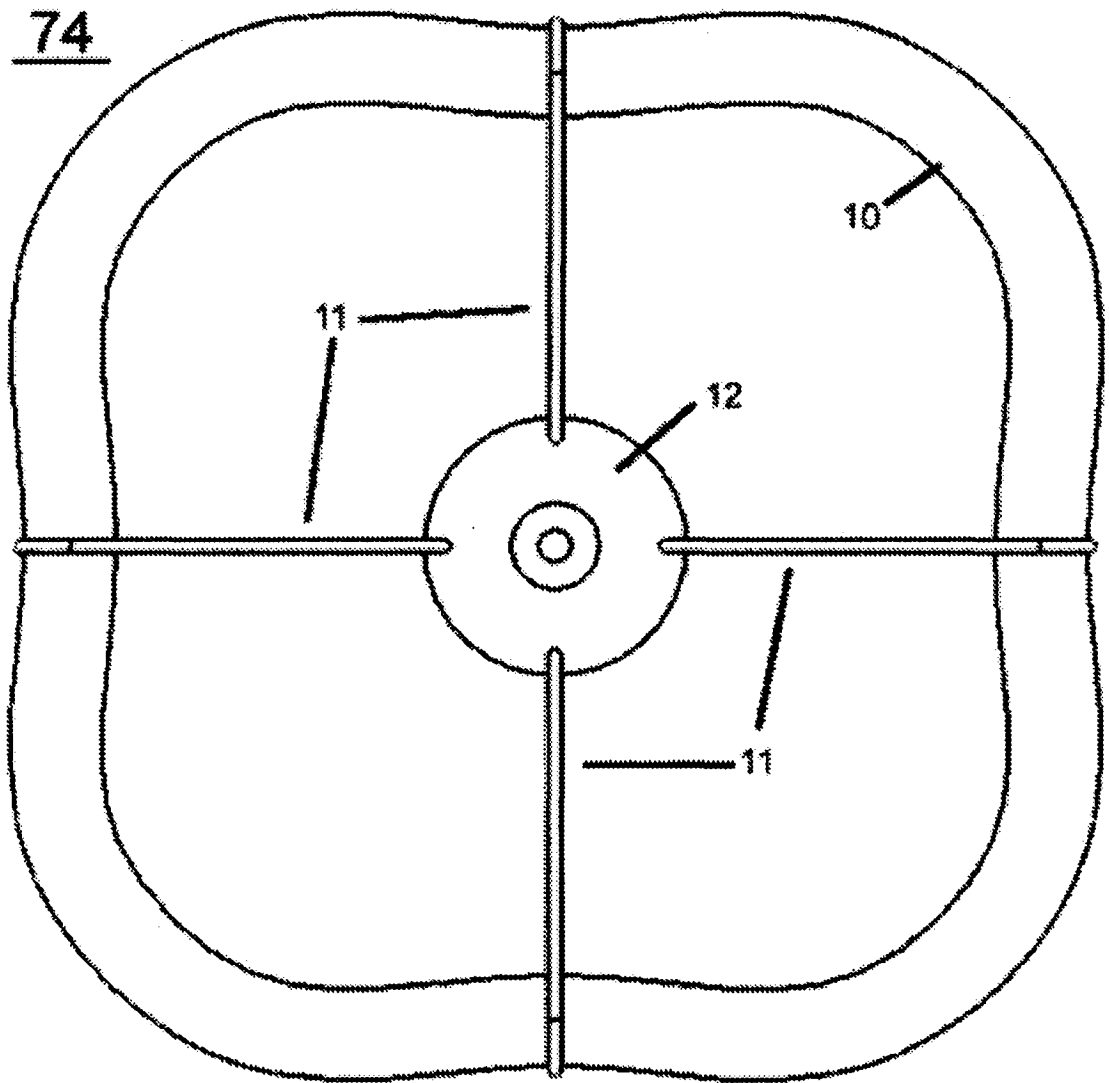


图 26