



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103661938 B

(45)授权公告日 2016.08.17

(21)申请号 201310334699.0

(22)申请日 2013.08.02

(30)优先权数据

13/565,526 2012.08.02 US

(73)专利权人 贝尔直升机德事隆公司

地址 美国德克萨斯州

(72)发明人 卡洛斯·A·费尼

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 王萍 李春晖

(51)Int.Cl.

B64C 27/54(2006.01)

B64C 27/64(2006.01)

(56)对比文件

FR 1242886 A, 1960.10.07, 说明书第2页第

10-12段, 说明书附图1-2.

GB 2213448 A, 1989.08.16, 说明书第7页第3-4段, 第8页第1-3段, 说明书附图1-5.

CN 201851248 U, 2011.06.01, 全文.

US 2002/0134883 A1, 2002.09.26, 全文.

US 3468175 A, 1969.09.23, 全文.

审查员 郑硕

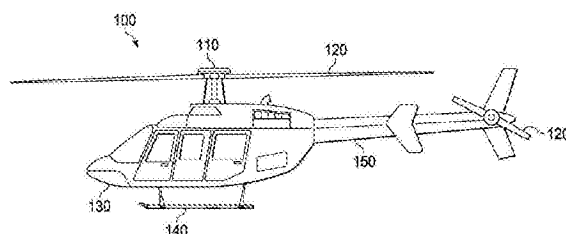
权利要求书3页 说明书26页 附图60页

(54)发明名称

旋翼飞行器、径向流体装置和提供多谐波流体流量的方法

(57)摘要

公开了旋翼飞行器、径向流体装置和提供多谐波流体流量的方法。根据一种实施方式, 径向流体装置包括缸体块、第一多个活塞和第二多个活塞、围绕第一多个径向延伸缸体布置的第一凸轮、以及围绕第二多个径向延伸缸体布置的第二凸轮。第一凸轮被配置成使第一多个活塞在第一多个径向延伸缸体内每转进行多次冲程运动, 并且第二凸轮被配置成使第二多个活塞在第二多个径向延伸缸体内每转进行比第一多个活塞每转进行冲程的次数多了至少一次的冲程运动。第二凸轮比第一凸轮具有多于至少一个的瓣。



1. 一种旋翼飞行器,包括:
机体;
动力系,所述动力系耦接至所述机体,并且包括动力源和耦接至所述动力源的驱动轴;
旋翼系统,所述旋翼系统耦接至所述动力系,所述旋翼系统包括旋翼桨叶;
致动器,所述致动器耦接至所述旋翼桨叶,并且能够操作以移动所述旋翼桨叶;以及
径向流体装置,所述径向流体装置与所述致动器流体连通,所述径向流体装置包括:
缸体块,所述缸体块包括第一多个径向延伸缸体和第二多个径向延伸缸体,其中,所述缸体块被安装用于旋转;
第一多个活塞,所述第一多个活塞中的每个活塞被可滑动地容纳在所述第一多个径向延伸缸体中的一个不同的缸体内;
第二多个活塞,所述第二多个活塞中的每个活塞被可滑动地容纳在所述第二多个径向延伸缸体中的一个不同的缸体内;
第一凸轮,所述第一凸轮被布置成围绕所述第一多个径向延伸缸体;以及
第二凸轮,所述第二凸轮被布置成围绕所述第二多个径向延伸缸体,其中,所述第二凸轮比所述第一凸轮具有多于至少一个的瓣。
2. 根据权利要求1所述的旋翼飞行器,其中,所述第一多个径向延伸缸体中的每个缸体与所述第二多个径向延伸缸体中的相应缸体流体连通,以形成多个缸体对。
3. 根据权利要求2所述的旋翼飞行器,还包括具有第一多个流体通道的壳体,其中,每个缸体对与所述第一多个流体通道之一流体连通。
4. 根据权利要求3所述的旋翼飞行器,其中,所述致动器与所述第一多个流体通道之一流体连通。
5. 根据权利要求4所述的旋翼飞行器,其中,所述缸体块的旋转导致所述多个缸体对中的缸体对改变由所述缸体对提供给所述致动器的流体的压力。
6. 根据权利要求3所述的旋翼飞行器,所述壳体还包括第二多个流体通道,其中,每个缸体对与所述第二多个流体通道之一流体连通。
7. 根据权利要求1所述的旋翼飞行器,其中,所述第一多个径向延伸缸体在所述径向流体装置内没有流体连通。
8. 根据权利要求1所述的旋翼飞行器,其中:
所述缸体块还包括第三多个径向延伸缸体和第四多个径向延伸缸体;以及
所述径向流体装置还包括:
第三多个活塞,所述第三多个活塞中的每个活塞被可滑动地容纳在所述第三多个径向延伸缸体中的一个不同的缸体内;
第四多个活塞,所述第四多个活塞中的每个活塞被可滑动地容纳在所述第四多个径向延伸缸体中的一个不同的缸体内;
第三凸轮,所述第三凸轮被布置成围绕所述第三多个径向延伸缸体,所述第三凸轮与所述第一凸轮具有相同数量的瓣;以及
第四凸轮,所述第四凸轮被布置成围绕所述第四多个径向延伸缸体,所述第四凸轮与所述第二凸轮具有相同数量的瓣。
9. 根据权利要求8所述的旋翼飞行器,其中,所述第二凸轮与所述第四凸轮异相。

10. 根据权利要求1所述的旋翼飞行器,其中,所述缸体块和所述驱动轴被机械耦接,以使得所述缸体块和所述驱动轴以近似相同的速率旋转。

11. 根据权利要求1所述的旋翼飞行器,其中,所述缸体块和所述旋翼系统被机械耦接,以使得所述缸体块和所述旋翼桨叶以近似相同的速率旋转。

12. 根据权利要求1所述的旋翼飞行器,其中,所述第一凸轮具有两个或更多个瓣。

13. 根据权利要求1所述的旋翼飞行器装置,其中,所述缸体块被安装用于旋转,以使得所述缸体块的旋转导致所述第一多个活塞和所述第二多个活塞中的每个活塞进行冲程运动。

14. 一种径向流体装置,包括:

缸体块,所述缸体块包括第一多个径向延伸缸体和第二多个径向延伸缸体,其中,所述缸体块被安装用于旋转;

第一多个活塞,所述第一多个活塞中的每个活塞被可滑动地容纳在所述第一多个径向延伸缸体中的一个不同的缸体内;

第二多个活塞,所述第二多个活塞中的每个活塞被可滑动地容纳在所述第二多个径向延伸缸体中的一个不同的缸体内;

第一凸轮,所述第一凸轮被布置成围绕所述第一多个径向延伸缸体,并被配置成使所述第一多个活塞在所述第一多个径向延伸缸体内每转进行多次冲程运动;以及

第二凸轮,所述第二凸轮被布置成围绕所述第二多个径向延伸缸体,并被配置成使所述第二多个活塞在所述第二多个径向延伸缸体内每转进行比所述第一多个活塞每转进行冲程的次数多了至少一次的冲程运动,其中,所述第二凸轮比所述第一凸轮具有多于至少一个的瓣。

15. 根据权利要求14所述的径向流体装置,其中,所述第一多个径向延伸缸体中的每个缸体与所述第二多个径向延伸缸体中的相应缸体流体连通,以形成多个缸体对。

16. 根据权利要求15所述的径向流体装置,还包括具有第一多个流体通道的壳体,其中,每个缸体对与所述第一多个流体通道之一流体连通。

17. 根据权利要求16所述的径向流体装置,所述壳体还包括第二多个流体通道,其中,每个缸体对与所述第二多个流体通道之一流体连通。

18. 根据权利要求14所述的径向流体装置,其中,所述第一多个径向延伸缸体在所述径向流体装置内没有流体连通。

19. 根据权利要求14所述的径向流体装置,其中,

所述缸体块还包括第三多个径向延伸缸体和第四多个径向延伸缸体;以及

所述径向流体装置还包括:

第三多个活塞,所述第三多个活塞中的每个活塞被可滑动地容纳在所述第三多个径向延伸缸体中的一个不同的缸体内;

第四多个活塞,所述第四多个活塞中的每个活塞被可滑动地容纳在所述第四多个径向延伸缸体中的一个不同的缸体内;

第三凸轮,所述第三凸轮被布置成围绕所述第三多个径向延伸缸体,所述第三凸轮与所述第一凸轮具有相同数量的瓣;以及

第四凸轮,所述第四凸轮被布置成围绕所述第四多个径向延伸缸体,所述第四凸轮与

所述第二凸轮具有相同数量的瓣。

20. 根据权利要求19所述的径向流体装置, 其中, 所述第二凸轮与所述第四凸轮异相。

21. 根据权利要求14所述的径向流体装置, 其中, 所述第一凸轮具有两个或更多个瓣。

22. 根据权利要求14所述的径向流体装置, 其中, 所述缸体块被安装用于旋转, 以使得所述缸体块的旋转导致所述第一多个活塞和所述第二多个活塞中的每个活塞进行冲程运动。

23. 一种提供多谐波流体流量的方法, 包括

提供第一缸体和与所述第一缸体流体连通的第二缸体;

提供第一活塞和第二活塞, 所述第一活塞被可滑动地容纳在所述第一缸体内, 且所述第二活塞被可滑动地容纳在所述第二缸体内;

使所述第一活塞在所述第一缸体内每转进行多次冲程运动; 以及

使所述第二活塞在所述第二缸体内每转进行比所述第一活塞每转进行冲程的次数多了至少一次的冲程运动。

24. 根据权利要求23所述的方法, 其中:

使所述第一活塞每转进行多次冲程运动包括提供围绕所述第一活塞布置的第一凸轮; 以及

使所述第二活塞每转进行多次冲程运动包括提供围绕所述第二活塞布置的第二凸轮, 其中, 所述第二凸轮比所述第一凸轮具有多于至少一个的瓣。

旋翼飞行器、径向流体装置和提供多谐波流体流量的方法

技术领域

[0001] 本发明总体上涉及旋翼飞行器桨叶控制,以及更具体地涉及具有多谐波输出的径向流体装置。

背景技术

[0002] 旋翼飞行器(rotorcraft)可以包括一个或更多个旋翼系统。旋翼飞行器旋翼系统的一个示例是主旋翼系统。主旋翼系统可以生成气动升力以在飞行中支承旋翼飞行器的重量,并且生成推力以抵抗气动阻力以及在前飞中移动旋翼飞行器。旋翼飞行器旋翼系统的另一示例是尾旋翼系统。尾旋翼系统可以在与主旋翼系统的旋转相同的方向上生成推力,以对抗由主旋翼系统产生的转矩效应。旋翼系统可以包括旋转、偏转和/或调节旋翼桨叶的一个或更多个装置。

发明内容

[0003] 本公开内容的具体实施方式可以提供一个或更多个技术优势。一种实施方式的技术优势可以包括实现对旋翼系统的独立桨叶控制的能力。一种实施方式的技术优势可以包括下述能力:在不需要冗余的电气或机械系统、状况监视系统或次级负载路径的情况下,提供可靠的独立桨叶控制系统。一种实施方式的技术优势可以包括机械地控制独立桨叶控制系统的能力。一种实施方式的技术优势可以包括在独立桨叶控制系统中节省动力的能力。

[0004] 根据本公开内容的一方面,提供了一种旋翼飞行器,包括:机体;动力系,该动力系耦接至机体,并且包括动力源和耦接至动力源的驱动轴;旋翼系统,该旋翼系统耦接至动力系,该旋翼系统包括旋翼桨叶;致动器,该致动器耦接至旋翼桨叶,并且能够操作以移动旋翼桨叶;以及径向流体装置,该径向流体装置与致动器流体连通。该径向流体装置包括:缸体块,该缸体块包括第一多个径向延伸缸体和第二多个径向延伸缸体,其中,缸体块被安装用于旋转;第一多个活塞,所述第一多个活塞中的每个活塞被可滑动地容纳在第一多个径向延伸缸体中的一个不同的缸体内;第二多个活塞,所述第二多个活塞中的每个活塞被可滑动地容纳在第二多个径向延伸缸体中的一个不同的缸体内;第一凸轮,该第一凸轮被布置成围绕第一多个径向延伸缸体;以及第二凸轮,该第二凸轮被布置成围绕第二多个径向延伸缸体,其中,第二凸轮比第一凸轮具有多于至少一个的瓣。

[0005] 根据本公开内容的另一方面,提供了一种径向流体装置,包括:缸体块,该缸体块包括第一多个径向延伸缸体和第二多个径向延伸缸体,其中,缸体块被安装用于旋转;第一多个活塞,所述第一多个活塞中的每个活塞被可滑动地容纳在第一多个径向延伸缸体中的一个不同的缸体内;第二多个活塞,该第二多个活塞中的每个活塞被可滑动地容纳在第二多个径向延伸缸体中的一个不同的缸体内;第一凸轮,该第一凸轮被布置成围绕第一多个径向延伸缸体,并被配置成使第一多个活塞在第一多个径向延伸缸体内每转进行多次冲程运动;以及第二凸轮,该第二凸轮被布置成围绕第二多个径向延伸缸体,并被配置成使第二多个活塞在第二多个径向延伸缸体内每转进行比第一多个活塞每转进行冲程的次数多了

至少一次的冲程运动,其中,第二凸轮比第一凸轮具有多于至少一个的瓣。

[0006] 根据本公开内容的又一方面,提供了一种提供多谐波流体流量的方法,包括提供第一缸体和与所述第一缸体流体连通的第二缸体;提供第一活塞和第二活塞,第一活塞被可滑动地容纳在第一缸体内,且第二活塞被可滑动地容纳在第二缸体内;使第一活塞在第一缸体内每转进行多次冲程运动;以及使第二活塞在第二缸体内每转进行比第一活塞每转进行冲程的次数多了至少一次的冲程运动。

[0007] 本公开内容的一些实施方式可以包括上面的优势中的一些优势、所有优势或者不包括上面的优势。根据本文中所包括的附图、说明书和权利要求书,一个或更多个其他技术优势对本领域的普通技术人员而言将会容易理解。

附图说明

[0008] 为了提供对本发明以及本发明的特征和优势的更全面的理解,结合附图提及下面的描述,在附图中:

[0009] 图1示出了根据一种示例配置的旋翼飞行器;

[0010] 图2示出了根据一种示例配置的图1的旋翼系统和桨叶120;

[0011] 图3A示出了针对每转一次振荡的频率的图1的桨叶的运动;

[0012] 图3B示出了针对每转三次振荡的频率的图1的桨叶的运动;

[0013] 图3C示出了针对每转五次振荡的频率的图1的桨叶的运动;

[0014] 图4A至图4D示出了针对每转四次振荡的频率的图1的桨叶的运动;

[0015] 图5A示出了针对每转两次振荡的频率的图1的桨叶的运动;

[0016] 图5B示出了针对每转六次振荡的频率的图1的桨叶的运动;

[0017] 图6A和图6B示出了示例液压致动系统;

[0018] 图7A和图7B示出了另一示例液压致动系统;

[0019] 图8A和图8B示出了又一示例液压致动系统;

[0020] 图8C和图8D示出了在两个凸轮之间负载平衡的示例液压致动系统;

[0021] 图9A示出了根据一种实施方式的又一示例液压致动系统;

[0022] 图9B示出了由图9A的示例液压致动系统所生成的每个正弦振荡图案之和;

[0023] 图10A至图10S示出了根据一种示例实施方式的径向流体装置;

[0024] 图11A至图11J示出了图10A至图10S的径向流体装置的替选实施方式;

[0025] 图11K示出了通过图11J的泵部的操作产生的惯性桨叶运动(2/转);

[0026] 图12A至图12E示出了根据一种示例实施方式的、以图10A至图10S的径向流体装置为特征的独立桨叶控制(IBC)系统;

[0027] 图13A至图13J和图13M示出了根据另一示例实施方式的径向流体装置;

[0028] 图13K示出了图13A至图13J和图13M的径向流体装置的替选实施方式;

[0029] 图13L示出了根据一种示例实施方式的被配置成提供五桨叶旋翼系统中的独立桨叶控制的基本周期泵;

[0030] 图14A至图14C示出了根据一种示例实施方式的、以图13A至图13J和图13M的径向流体装置为特征的IBC系统;

[0031] 图15A至图15F示出了根据一种示例实施方式的图14A至图14C的IBC系统的桨叶致

动器；

[0032] 图16A示出了根据一种示例实施方式的、串联耦接的两个图15A至图15F的桨叶致动器；

[0033] 图16B示出了根据一种示例实施方式的、串联耦接的三个图15A至图15F的桨叶致动器；

[0034] 图17A示出了根据一种示例实施方式的、以三个图13A至图13J和图13M的径向流体装置和四组耦接的图16B的桨叶致动器为特征的IBC系统；以及

[0035] 图17B示出了根据一种示例实施方式的、以两个图13A至图13J和图13M的径向流体装置和四组耦接的图16A的桨叶致动器为特征的IBC系统。

具体实施方式

[0036] 旋翼系统

[0037] 图1示出了根据一种示例配置的旋翼飞行器100。旋翼飞行器100以旋翼系统110、桨叶120、机身130、起落装置140和尾翼150为特征。旋翼系统110可以旋转桨叶120。旋翼系统110可以包括控制系统，用于选择性地控制每个桨叶120的俯仰(pitch)，以选择性地控制旋翼飞行器100的方向、推力和升力。机身130表示旋翼飞行器100的机体，并且可以耦接至旋翼系统110，使得旋翼系统110和桨叶120可以借助空气移动机身130。当旋翼飞行器100着陆时和/或当旋翼飞行器100静止在地面上时，起落装置140支承旋翼飞行器100。尾翼150表示飞行器的尾部，并且以旋翼系统110和桨叶120'的部件为特征。桨叶120'可以在与桨叶120的旋转相同的方向上提供推力，以便对抗由旋翼系统110和桨叶120产生的转矩效应。与本文中所描述的旋翼系统有关的一些实施方式的教导可以应用于旋翼系统110和/或其他旋翼系统，例如其他倾斜旋翼系统和直升机旋翼系统。还应当理解的是，旋翼飞行器100的教导可以应用于除了旋翼飞行器之外的飞行器，列举一些示例，如飞机和无人驾驶飞行器。

[0038] 图2示出了根据一种示例配置的图1的旋翼系统110和桨叶120。在图2的示例配置中，旋翼系统110以动力系(power train)112、毂114、斜盘116和俯仰连杆(pitch link)118为特征。在一些示例中，旋翼系统110可以包括更多部件或更少部件。例如，图2没有示出诸如变速箱、倾斜盘、驱动连杆、驱动杆、以及可以被合并的其他部件的部件。

[0039] 动力系112以动力源112a和驱动轴112b为特征。动力源112a、驱动轴112b以及毂114是用于传递转矩和/或旋转的机械部件。动力系112可以包括多个部件，包括发动机、传动装置和差动齿轮(differentials)。在操作中，驱动轴112b从动力源112a接收转矩或旋转能，并且使毂114旋转。旋翼毂114的旋转使得桨叶120围绕驱动轴112b螺旋。

[0040] 斜盘116将旋翼飞行器飞行控制输入转换成桨叶120的运动。因为当旋翼飞行器在飞行时，桨叶120通常自旋，所以斜盘116可以将飞行控制输入从不旋转的机身传送至毂114、桨叶120和/或将毂114耦接至桨叶120的部件(例如，夹具和俯仰操纵杆(pitch horn))。本说明书中提及的俯仰连杆与毂之间的耦接还可以包括但不限于：俯仰连杆与桨叶之间的耦接或俯仰连杆与将毂耦接至桨叶的部件之间的耦接。

[0041] 在一些示例中，斜盘116可以包括不旋转斜盘环116a和旋转斜盘环116b。不旋转斜盘环116a不与驱动轴112b一起旋转，而旋转斜盘环116b与驱动轴112b一起旋转。在图2的示例中，俯仰连杆118将旋转斜盘环116b连接至桨叶120。

[0042] 在操作中,根据一种示例实施方式,将不旋转斜盘环116a沿着驱动轴112b的轴线平移使得俯仰连杆118向上移动或向下移动。这同等地改变所有桨叶120的俯仰角,从而增加或减小旋翼的推力,并且使得飞行器上升或下降。将不旋转斜盘环116a倾斜使得旋转斜盘116b倾斜,从而当它们与驱动轴一起旋转时,使俯仰连杆118周期地上下移动。这会使旋翼的推力矢量倾斜,从而导致旋翼飞行器100顺着斜盘被倾斜的方向水平地平移。

[0043] 独立桨叶控制

[0044] 独立桨叶控制(IBC)可以指控制各个旋翼系统桨叶(例如桨叶120a至120d)的运动的能力。例如,IBC可以提供当各个桨叶旋转时控制各个桨叶的谐波运动(harmonic motion)的能力。为了讨论的目的,谐波桨叶运动可以被分成三类:谐波周期运动(harmonic cyclic motion)、谐波集体运动(harmonic collective motion)和惯性运动(reactionless motion)。这三类没有限定用于驱动桨叶的任何特定的机构。而是,这些种类的运动可以通过它们的振荡桨叶运动的特性来限定。

[0045] 谐波周期运动可以表示与可通过将振荡斜盘倾斜输入应用到斜盘的不旋转的半部而生成的这些运动类似的旋翼桨叶正弦运动。在图2的示例中,谐波周期运动可以类似于倾斜输入到不旋转斜盘环116a的应用。

[0046] 谐波周期运动的频率可以被表达为旋翼绕转频率的具体的多个整数(例如,每分钟转数或RPM)。关于四桨叶旋翼系统(例如旋翼系统110),谐波周期振荡的频率为奇整数值(例如,每转有一次桨叶振荡、3/转、5/转、7/转等)。

[0047] 图3A至图3C示出了针对每转一次、三次以及五次桨叶振荡的频率的桨叶120a至120d的运动。图3A示出了针对每转一次振荡的频率的桨叶120a至120d的运动。每转一次桨叶振荡可以例如通过将不旋转斜盘环116a保持在固定的、倾斜的位置来实现。图3B示出了针对每转三次振荡的频率的桨叶120a至120d的运动。图3C示出了针对每转五次振荡的频率的桨叶120a至120d的运动。

[0048] 谐波集体运动彼此同相地正弦移动所有的桨叶。在图2的示例中,谐波集体运动可以类似于轴向输入到不旋转斜盘环116a的应用。

[0049] 谐波集体运动的频率可以被表达为旋翼绕转频率的具体的多个整数(例如,RPM)。具体地,谐波集体运动的频率可以被表达为旋翼上的桨叶的数量的倍数。对于四桨叶旋翼系统(例如旋翼系统110),谐波集体振荡的频率为4/转、8/转等。图4A至图4D示出了针对4/转的频率的桨叶120a至120d的运动。如图4A至图4D所示,桨叶120a至120d一律彼此同相地正弦移动。

[0050] 不同于谐波周期运动和谐波集体运动,惯性运动不能够通过斜盘运动重复或类比为斜盘运动。对于四桨叶旋翼系统,惯性运动的频率为2/转和6/转,这不能使用图2的旋翼系统110实现。四桨叶旋翼系统的2/转和6/转的振荡频率导致相邻的桨叶具有180度的相位滞后并且相对的桨叶彼此同相。图5A示出了针对2/转的频率的桨叶120a至120d的运动,以及图5B示出了针对6/转的频率的桨叶120a至120d的运动。一些实施方式的教示认识到:实现惯性控制可以提高旋翼系统效率以及降低噪声和振动。

[0051] 因而,IBC可以表示不受由传统的斜盘控制强加的周期运动学的运动限制和集体运动学的运动限制移动桨叶的能力。虽然IBC不是实现周期控制和集体控制的前提,但它却是实现惯性控制的前提。

[0052] 一些实施方式的教示认识到在旋翼系统上实现IBC的能力。为了讨论的目的,IBC系统可以被分为两类:部分权限和全部权限。部分权限IBC系统使用提供用于周期控制和集体控制的基本桨叶运动的斜盘,对它们的高次谐波控制运动和惯性控制运动进行求和。全部权限IBC系统通过全范围的周期运动和集体运动提供独立桨叶控制。在一些情况下,部分权限IBC系统可以是优选的,因为高次谐波运动和惯性运动的总计的幅值通常是周期控制和集体控制所需要的总桨叶行程的相对小的百分比。因此,部分权限IBC致动器的故障模式效应没有全部权限系统重要,从而允许较小水平的可靠性和冗余度。另一方面,全部权限IBC系统可以是优选的,因为它们可以允许取消斜盘,从而允许取消某些滞后和重量障碍(penalty)。

[0053] 液压系统

[0054] 一些实施方式的教示认识到通过液压致动每个旋翼桨叶的位置来实现IBC的能力。图6A和图6B示出了一种示例液压致动系统200。液压致动系统200以泵210、控制阀220(例如,电液阀)、致动器230和贮存器240为特征。在操作中,泵210向控制阀220提供液压流体,控制阀220将流体提供至致动器230内或将流体释放到致动器230外。改变致动器230中的流体的体积允许液压致动系统200升高或降低负载250。控制阀220可以将液压流体传递至贮存器240,贮存器240可以根据需要向泵210提供液压流体。

[0055] 在图6A和图6B的示例中,液压致动系统200为恒压系统,在该恒压系统中泵210提供恒压的液压流体。在恒压液压系统中,移动致动器所消耗的动力独立于在致动器上施加的负载,因为动力是产品流量和系统压力的函数。

[0056] 当控制阀220被要求它们的最大孔口尺寸时,实现最大致动器速率能力,这也是液压致动系统200的最大工作效率状态。因而,如图6A所示,当负载250最大时,出现最大工作效率状态。

[0057] 当要求小于最大致动器速率的速率时(例如,如图6B所示,当负载250较小时),控制阀220通过减小孔口尺寸并且将不使用的动力转换成废热来节流流量。当要求控制阀220以小于最大速率的速率在与辅助负载相同方向上移动致动器230时,动力被转换成甚至更多的废热。除了节流进入致动器230的液压流量而浪费的动力以外,被排出致动器230的液压流体也通过控制阀220潜在浪费再生的动力以及将动力转换成废热来节流。

[0058] 为提高系统可靠性添加第二组致动器230可以将该动力浪费放大多于简单的两倍。对于冗余度,每个控制阀220能够独立地提供所需要的动力。这表示:当一起操作时,它们均浪费多于它们消耗的动力的一半。因此,通过添加第二组控制阀220所浪费的动力可以使浪费的动力和生成的热增加了四倍。

[0059] 通过在不节流流量的情况下调节流入和流出液压致动器的流体的体积,可以降低或消除控制阀动力损失和所产生的废热生成。图7A和图7B示出了一种示例液压致动系统300。液压致动系统300以泵310和致动器320为特征。泵310是以斜盘312为特征的可逆流液压泵,斜盘312可以通过控制输入314调节。在操作中,泵310可以通过改变斜盘312的位置来移动负载330,这允许流体在致动器320的室之间流动。因而,斜盘312可以提供对位移和流向的控制。

[0060] 不同于液压致动系统200,液压致动系统300可以在不节流功耗的情况下提供致动器位置的控制。然而,将该技术应用于IBC会由于性能、系统复杂度、重量和控制问题而不可

行。具体地,斜盘312的高的相对惯性可能不能够提供IBC所需要的频率响应。另外,具有双冗余的四桨叶旋翼需要至少总计八个泵的系统,因为每个致动器需要用于控制的专用泵。

[0061] 因而,虽然液压致动的动力密度和堵塞抵抗性(power density and jam resistance)会使液压致动适合应用于IBC,但是效率和惯性问题会使一些液压致动系统不可行。然而,一些实施方式的教示认识到在没有与液压致动系统200相关联的浪费的能量或与液压致动系统300相关联的高惯性问题的情况下在IBC系统中致动负载的能力。具体地,一些实施方式的教示认识到通过使用机械上程序化(programmed)的凸轮在IBC系统中高效且有效地致动负载的能力。

[0062] 图8A和图8B示出了根据一种示例实施方式的液压致动系统400。液压致动系统400以凸轮410和活塞组件420和430为特征。不同于液压致动系统200,液压致动系统400不以限制流量的任何控制阀为特征。反而,活塞组件420和430彼此直接端口连接。因而,液压致动系统400可以不经受与液压致动系统200相关联的能耗损失。另外,不同于液压致动系统300,液压致动系统400不以斜盘为特征,从而可以不经受与液压致动系统300相关联的的惯性问题。

[0063] 在操作中,如图8A所示,凸轮410向下推活塞组件420的活塞,这迫使流体进入活塞组件430中,从而抬高负载440。对于较低的负载440,如图8B所示,凸轮410允许活塞组件420的活塞能够上拉,这允许流体流出活塞组件430,从而降低负载440。不管摩擦损失,升高或降低负载440可以100%有效,而与负载440的大小无关。

[0064] 如图8C和8D所示,一些实施方式的教示认识到通过平衡两个凸轮410之间的负载来减小移动凸轮410所需要的动力的能力。在本示例中,凸轮轴450以180度异相地将两个凸轮410结合在一起。不管泄露和摩擦损失,一旦实现凸轮轴450的恒定速度,缸体负载的正弦升高和降低将不需要维持运动的额外的能量。

[0065] 另外,一些实施方式的教示认识到通过提供多个不同形状的凸轮对负载的正弦运动进行编程(program)的能力。如上面关于不同种类的IBC运动所说明的,IBC运动可以被表达为旋翼绕转的具体整数(例如,对于四桨叶旋翼系统,关于周期运动的每转一次振荡,关于惯性运动的2/转,关于周期运动的3/转,关于集体运动的4/转,关于周期运动的5/转,关于惯性运动的6/转等)。一些实施方式的教示认识到下述能力:该能力通过提供针对每个振荡频率的凸轮并且然后将输出液压地求和来对正弦运动进行编程。

[0066] 图9A示出了根据一种示例实施方式的液压致动系统500。液压致动系统500以凸轮组件510、活塞组件520以及可操作以移动负载540的致动器530为特征。凸轮组件510的每个凸轮可操作以便根据图9A中所示的正弦振荡图案560振荡活塞组件520中的相应活塞。

[0067] 在图9A的示例中,凸轮组件以耦接至凸轮轴550的六个凸轮511至516为特征。每个凸轮511至516对应于不同的振荡频率。例如,凸轮511为如通过正弦振荡图案561所示的、凸轮轴550的每转振荡活塞521一次的单瓣凸轮。凸轮512为如通过正弦振荡图案562所示的、凸轮轴550的每转振荡活塞522两次的两瓣凸轮。凸轮513为如通过正弦振荡图案563所示的、凸轮轴550的每转振荡活塞523三次的三瓣凸轮。凸轮514为如通过正弦振荡图案564所示的、凸轮轴550的每转振荡活塞524四次的四瓣凸轮。凸轮515为如通过正弦振荡图案565所示的、凸轮轴550的每转振荡活塞525五次的五瓣凸轮。凸轮516为如通过正弦振荡图案566所示的、凸轮轴550的每转振荡活塞526六次的六瓣凸轮。

[0068] 可以通过对来自每个活塞组件520的输出进行液压求和来生成精确的波形。例如，图9B示出了各个正弦振荡图案560之和。如图9B所示，各个正弦振荡图案560之和可以产生不是正弦的、求和后的振荡图案570。

[0069] 记住这些概念，如下面更详细讨论的，一些实施方式的教示认识到在旋翼系统上实现IBC的能力。

[0070] 部分权限IBC

[0071] 图10A至10S示出了根据一种示例实施方式的径向流体装置600。一些实施方式的教示认识到：径向流体装置600可以从单个单元向多个致动器生成正弦波形幅值和同步位移控制。如下面将更详细说明的，这些正弦位移变化的形状和同步可以通过将每个IBC致动器移位以重复期望的周期谐波运动、集体谐波运动和惯性桨叶运动所需要的液压流体的相应的体积和来限定。以这种方式，径向流体装置600可以仿效液压致动系统500的液压总和能力。另外，一些实施方式的教示认识到：径向流体装置600可以通过利用辅助致动器负载作为液压马达驱动径向流体装置600来仿效液压致动系统400的动力节省和再生能力。

[0072] 图10A示出了径向流体装置600的侧视图，以及图10B示出了径向流体装置600的顶视图。径向流体装置600以结合公共缸体块604(在图10A和图10B中未示出)一起旋转的多个堆叠的径向活塞部为特征。在图10A至图10S的示例中，径向流体装置600以与轴602和缸体块604一起旋转的堆叠的径向活塞部620至660以及620'至660'为特征。

[0073] 如下面将更详细示出的，轴602耦接至缸体块604。在一些实施方式中，轴602可拆装地耦接至缸体块604。例如，不同的轴602可以具有不同的齿轮花键，并且安装者可以从不同的轴602中进行选择用于与径向流体装置600一起使用。

[0074] 缸体块604在径向流体装置600内旋转。在图10A至图10S的示例中，缸体块604的旋转轴线与轴602同轴。轴承可以将缸体块604与径向流体装置600的不旋转机体分离。

[0075] 每个泵部对(例如，部620和620'、630和630'等)专用于生成特定频率的期望波形。在图10A至图10S的示例中，泵部对专用于生成2/转至6/转的期望波形。在本示例中，基本周期运动(1/转)是通过机械斜盘(例如图2的斜盘116)生成的。

[0076] 尽管径向流体装置600中的泵部对专用于生成2/转至6/转的期望波形，但是一些实施方式的教示认识到：其他的流体装置可以包括专用于生成更多、更少或不同的期望波形的泵部。例如，通过一些频率提供的性能益处会是最小的，并且会消除生成这些频率的泵部。作为一个示例，径向流体装置600的变化可以仅以专用于2/转(惯性)和4/转(集体谐波)的泵部为特征，其中基本周期运动(1/转)通过机械斜盘而生成。

[0077] 来自径向流体装置600中的每个泵部对的单独的部分频率可以被液压地一起求和，以对每个致动器生成最终的期望波形，如上面关于图9B所描述的波形。具体地，如下面将更详细说明的，歧管670将液压求和后的流体从径向流体装置600传递至与旋翼系统中的每个桨叶相对应的致动器。

[0078] 图10C示出了沿着图10B中表示的横截面线的泵部620的横截面视图。在操作中，泵部620可操作以提供如图10D所示的通过桨叶120a至120d产生惯性桨叶运动(2/转)的液压流量。具体地，如图10D所示，相邻的桨叶120a和120b为180度异相，并且相对的桨叶120a和120c同相。以这种方式，图10D中的桨叶的运动与图5A中桨叶的运动相似。如下面将更详细说明的，一些实施方式的教示认识到：使用由椭圆形的凸轮驱动四个相等间隔的径向活

塞可以允许由每个活塞移位的流体的体积重复所需要的2/转惯性正弦运动和桨叶同步。

[0079] 在图10C的示例中,泵部620以四个活塞621a至621d为特征。每个活塞621a至621d被可滑动地容纳在与室604a至604d相关联的相应的缸体内。如下面将更详细示出的,每个室604a至604d表示缸体块604内的处于流体连通的多个缸体。每个室604a至604d可以具有使径向流体装置600退出控制不同的IBC致动器的独立的出口。

[0080] 泵部620还以凸轮622为特征。在操作期间,活塞621a至621d取决于凸轮622与缸体块604的旋转轴线之间的距离向内冲程和向外冲程。例如,凸轮622是具有两个瓣的椭圆形凸轮。当每个活塞621a至621d从凸轮622的横径朝向凸轮622的共轭直径移动时,每个活塞621a至621d将被推向靠近缸体块604的旋转轴线。同样地,当每个活塞621a至621d从凸轮622的共轭直径移动到凸轮622的横径时,每个活塞621a至621d将被推向远离缸体块604的旋转轴线。结果,每个活塞621a至621d朝向和远离缸体块604的旋转轴线往复运动。因而,朝向和远离旋转轴线的每次往复包括两次冲程:下行冲程和上行冲程。

[0081] 在图10C的示例中,凸轮622是椭圆形的,从而具有两个瓣。瓣的数量表示活塞在缸体块604的一个完全旋转期间完成了多少次正弦冲程运动。例如,在缸体块604的一个旋转期间,每个活塞621a至621d完成两次正弦冲程运动。泵部620在一个旋转期间完成两次正弦冲程运动的能力对应于某些惯性桨叶运动所需要的每转两次桨叶振荡。

[0082] 旋转凸轮622可以改变活塞621a至621d何时开始它们的冲程。例如,旋转凸轮622改变凸轮622的横径的位置,从而改变每个活塞621a至621d在何处开始下行冲程。如下面将更详细说明的,相对于泵部620'的相应的凸轮622'移动凸轮622可以改变泵部620和620'的相应活塞开始它们的下行冲程的时间之间的时间量。一些实施方式的教示认识到:改变泵部620和620'的相应活塞的下行冲程之间的时间量可以改变室604a至604d的最大可进入的缸体体积,因此改变流体如何流入和流出径向流体装置600。

[0083] 凸轮齿轮623、驱动齿轮624和凸轮调节器625可以结合地调节凸轮622的位置。凸轮齿轮623耦接至凸轮622。驱动齿轮624与凸轮齿轮623的齿相互作用。凸轮调节器625使驱动齿轮624旋转,以使得驱动齿轮624使凸轮齿轮623旋转。如上所述,移动凸轮622改变活塞621a至621d何时开始它们的冲程,并且改变活塞621a至621d何时开始它们的冲程可以改变流体如何流入和流出径向流体装置600。因而,一些实施方式的教示认识到下述能力:该能力用于通过改变凸轮调节器625的位置改变流体如何流入和流出径向流体装置600。

[0084] 在图10C的示例中,凸轮齿轮623为环形齿轮,驱动齿轮624为蜗轮,以及凸轮调节器625为电动机。一些实施方式的教示认识到:电驱动蜗轮可以尤其适合于调节IBC系统中的高次谐波(例如,2/转或更大)的相位角和幅值。在IBC系统中,相位角和幅值的高速变化可以不是高次谐波所需要的或甚至期望的。例如,椭圆形凸轮相位角的慢变化可以为在不期望的桨叶运动生成之前要识别和旁路的故障模式提供时间。另外,在大直径环形齿轮上运行的小直径蜗轮会提供高速档降低(high-gear reduction),从而减小所需要的电动机的转矩,并且在电动机故障的情况下提供不可逆性。在电动机故障的情况下,振荡运动可以由仍在工作的泵部(例如,泵部620')通过将其凸轮引向(index)相反的相位位置而被抵消。

[0085] 图10E、图10F和图10G示出了与其凸轮622和622'同相操作的泵部620和620'。图10E示出了沿着图10A中所示的横截面线的泵部620的横截面视图,图10F示出了沿着图10A中所示的横截面线的泵部620'的横截面视图,以及图10G示出了由泵部620和620'所产生的

桨叶120a的合成的桨叶角。

[0086] 在操作中,泵部620可操作以提供通过桨叶120a至120d产生惯性桨叶运动(2/转)的液压流量。如图10F所示,泵部622'以活塞621a'至621d'、凸轮622'、凸轮齿轮623'、驱动齿轮624'和凸轮调节器625'为特征。每个活塞621a'至621d'被可滑动地容纳在与室604a至604d相关联的相应缸体内。以这种方式,相应的活塞621a和621a'共用室604a,相应的活塞621b和621b'共用室604b,相应的活塞621c和621c'共用室604c,以及相应的活塞621d和621d'共用室604d。

[0087] 凸轮622'为椭圆形的,从而具有两个瓣。每个活塞621a'至621d'在缸体块604的一个旋转期间完成两次正弦冲程运动。泵部620'在一个旋转期间完成两次正弦冲程运动的能力对应于某些惯性桨叶运动所需要的每转两次桨叶振荡。

[0088] 凸轮齿轮623'、驱动齿轮624'和凸轮调节器625'可以结合地调节凸轮622'的位置。在一些实施方式中,可以独立地调节凸轮622和622'的相对位置。例如,可以沿相同方向或相反方向旋转凸轮622和622',并且凸轮622的旋转距离可以不必须匹配凸轮622'的旋转距离。

[0089] 图10G示出了当凸轮622和622'同相时由泵部620和620'产生的桨叶120a的合成桨叶角。在本示例中,泵部620和620'是同相的,以使得活塞621a和621a'完成它们的上行冲程,并且在0度和180度方位角处开始它们的下行冲程。在该配置中,由泵部620和620'生成的正弦波之和有效地是有贡献的正弦波的两倍。

[0090] 图10H、图10I和图10J示出了当其凸轮622和622'为90度异相时操作中的泵部620和620'。图10E示出了沿着图10A中所示的横截面线的泵部620的横截面视图,图10F示出了沿着图10A中所示的横截面线的泵部620'的横截面视图,以及图10G示出了当凸轮622和622'为90度异相时由泵部620和620'产生的桨叶120a的合成桨叶角。如图10H所示,凸轮622已经相对于图10E中所示的其位置旋转了90度。

[0091] 在本示例中,两个泵部620和620'为90度异相,以使得活塞621a和621a'完成它们的上行冲程并且相隔90度地开始它们的下行冲程。在该配置中,由泵部620和620'生成的有贡献的正弦波有效地取消。因而,泵部620和620'有效地对流入或流出室604a的流动没有影响,因此没有通过桨叶120a产生任何惯性运动。

[0092] 图10G和图10J的示例示出了相对于彼此沿相反的方向旋转凸轮622和622'可以如何改变室604a的有效的流量体积,从而改变由泵部620和620'的组合产生的总的正弦波的幅值。一些实施方式的教示认识到除了改变幅值之外改变由泵部620和620'的组合产生的总的正弦波的相位的能力。具体地,沿相同方向旋转凸轮622和622'可以改变总的正弦波何时达到峰值幅值,而不改变峰值幅值的大小。

[0093] 在图10C至图10J的示例中,泵部620和620'包括能够生成一些惯性桨叶运动的两瓣(椭圆形)凸轮。一些实施方式的教示认识到:径向流体装置600还可以包括能够生成不同的桨叶运动的额外的泵部。

[0094] 图10K示出了沿着图10B中所示的横截面线的泵部630的横截面视图。在操作中,泵部630可操作以提供如图10L所示的通过桨叶120a至120d产生周期桨叶运动(3/转)的液压流量。以这种方式,图10L中的桨叶的运动与图3B中的桨叶的运动类似。

[0095] 径向流体装置600还包括相应的泵部630'。泵部630和630'可以一起操作,以与泵

部620和620'如何一起操作生成惯性桨叶运动(2/转)类似地生成周期桨叶运动(3/转)。

[0096] 如图10K所示,泵部630以活塞631a至631d、凸轮632、凸轮齿轮633、驱动齿轮634和凸轮调节器635为特征。每个活塞631a至631d被可滑动地容纳在与室604a至604d相关联的相应缸体内。类似地,泵部630'的每个活塞631a'至631d'也被可滑动地容纳在与室604a至604d相关联的相应缸体内。以这种方式,相应的活塞631a和631a'共用室604a,相应的活塞631b和631b'共用室604b,相应的活塞631c和631c'共用室604c,以及相应的活塞631d和631d'共用室604d。另外,活塞631a和631a'、活塞631b和631b'、活塞631c和631c'以及活塞631d和631d'与径向流体装置600的其他泵部的活塞共用室。

[0097] 凸轮632具有三个瓣。每个活塞631a至631d在缸体块604的一个旋转期间完成三次正弦冲程运动。泵部630在一个旋转期间完成三次正弦冲程运动的能力对应于一些周期桨叶运动所需要的每转三次桨叶振荡。

[0098] 凸轮齿轮633、驱动齿轮634和凸轮调节器635可以结合地调节凸轮632的位置。在一些实施方式中,可以独立地调节凸轮632和632'的相对位置。例如,可以沿相同的方向或相反的方向旋转凸轮632和632',并且凸轮632的旋转距离可以不必须匹配凸轮632'的旋转距离。

[0099] 图10M示出了沿着图10B中所示的横截面线的泵部640的横截面视图。在操作中,泵部640可操作以提供如图10N所示的通过桨叶120a至120d产生集体桨叶运动(4/转)的液压流量。以这种方式,图10N中的桨叶的运动与图4A至图4D中的桨叶的运动类似。

[0100] 径向流体装置600还包括相应的泵部640'。泵部640和640'可以一起操作,以与泵部620和620'如何一起操作生成惯性桨叶运动(2/转)类似地生成集体桨叶运动(4/转)。

[0101] 如图10M所示,泵部640以活塞641a至641d、凸轮642、凸轮齿轮643、驱动轮644和凸轮调节器645为特征。每个活塞641a至641d被可滑动地容纳在与室604a至604d相关联的相应缸体内。类似地,泵部640'的每个活塞641a'至641d'也被可滑动地容纳在与室604a至604d相关联的相应缸体内。以这种方式,相应的活塞641a和641a'共用室604a,相应的活塞641b和641b'共用室604b,相应的活塞641c和641c'共用室604c,以及相应的活塞641d和641d'共用室604d。另外,活塞641a和641a'、活塞641b和641b'、活塞641c和641c'以及活塞641d和641d'与径向流体装置600的其他泵部的活塞共用室。

[0102] 凸轮642具有四个瓣。每个活塞641a至641d在缸体块604的一个旋转期间完成四次正弦冲程运动。泵部640在一个旋转期间完成四次正弦冲程运动的能力对应于一些集体桨叶运动所需要的每转四次桨叶振荡。

[0103] 凸轮齿轮643、驱动齿轮644和凸轮调节器645可以结合地调节凸轮642的位置。在一些实施方式中,可以独立地调节凸轮642和642'的相对位置。例如,可以沿相同的方向或相反的方向旋转凸轮642和642',并且凸轮642的旋转距离可以不必须匹配凸轮642'的旋转距离。

[0104] 图10O示出了沿着图10B中所示的横截面线的泵部650的横截面视图。在操作中,泵部650可操作以提供如图10P所示的通过桨叶120a至120d产生周期桨叶运动(5/转)的液压流量。以这种方式,图10P中的桨叶的运动与图3C中的桨叶的运动类似。

[0105] 径向流体装置600还包括相应的泵部650'。泵部650和650'可以一起操作,以与泵部620和620'如何一起操作生成惯性桨叶运动(2/转)类似地生成周期桨叶运动(5/转)。

[0106] 如图10M所示,泵部650以活塞651a至651d、凸轮652、凸轮齿轮653、驱动齿轮654和凸轮调节器655为特征。每个活塞651a至651d被可滑动地容纳在与室604a至604d相关联的相应缸体内。类似地,泵部650'的每个活塞651a'至651d'也被可滑动地容纳在与室604a至604d相关联的相应缸体内。以这种方式,相应的活塞651a和651a'共用室604a,相应的活塞651b和651b'共用室604b,相应的活塞651c和651c'共用室604c,以及相应的活塞651d和651d'共用室604d。另外,活塞651a和651a'、活塞651b和651b'、活塞651c和651c'以及活塞651d和651d'与径向流体装置600的其他泵部的活塞共用室。

[0107] 凸轮652具有五个瓣。每个活塞651a至651d在缸体块604的一个旋转期间完成五次正弦冲程运动。泵部630在一个旋转期间完成五次正弦冲程运动的能力对应于一些周期桨叶运动所需要的每转五次桨叶振荡。

[0108] 凸轮齿轮653、驱动齿轮654和凸轮调节器655可以结合地调节凸轮652的位置。在一些实施方式中,可以独立地调节凸轮652和652'的相对位置。例如,可以沿相同的方向或相反的方向旋转凸轮652和652',并且凸轮652的旋转距离可以不必须匹配凸轮652'的旋转距离。

[0109] 图10Q示出了沿着图10B中所示的横截面线的泵部660的横截面视图。在操作中,泵部660可操作以提供如图10R所示的通过桨叶120a至120d产生惯性桨叶运动(6/转)的液压流量。以这种方式,图10R中的桨叶的运动与图5B中的桨叶的运动类似。

[0110] 径向流体装置600还包括相应的泵部660'。泵部660和660'可以一起操作,以与泵部620和620'如何一起操作生成惯性桨叶运动(2/转)类似地生成惯性桨叶运动(6/转)。

[0111] 如图10M所示,泵部660以活塞661a至661d、凸轮662、凸轮齿轮663、驱动齿轮664和凸轮调节器665为特征。每个活塞661a至661d被可滑动地容纳在与室604a至604d相关联的相应缸体内。类似地,泵部660'的每个活塞661a'至661d'也被可滑动地容纳在与室604a至604d相关联的相应缸体内。以这种方式,相应的活塞661a和661a'共用室604a,相应的活塞661b和661b'共用室604b,相应的活塞661c和661c'共用室604c,以及相应的活塞661d和661d'共用室604d。另外,活塞661a和661a'、活塞661b和661b'、活塞661c和661c'以及活塞661d和661d'与径向流体装置600的其他泵部的活塞共用室。

[0112] 凸轮662具有六个瓣。每个活塞661a至661d在缸体块604的一个旋转期间完成六次正弦冲程运动。泵部660在一个旋转期间完成六次正弦冲程运动的能力对应于一些惯性桨叶运动所需要的每转六次桨叶振荡。

[0113] 凸轮齿轮663、驱动齿轮664和凸轮调节器665可以结合地调节凸轮662的位置。在一些实施方式中,可以独立地调节凸轮662和662'的相对位置。例如,可以沿相同的方向或相反的方向旋转凸轮662和662',并且凸轮662的旋转距离可以不必须匹配凸轮662'的旋转距离。

[0114] 图10S示出了沿着图10B中所示的横截面线的径向流体装置600的横截面视图。如图10S所示,围绕同一缸体块604定位生成频率2/转至6/转的所有的泵部。另外,所有的泵部共用相同的室604a至604d。每个室604a至604d通过歧管670被端口连接到径向流体装置600之外。歧管670可以使得在每个室604a至604d和具有旋翼桨叶120a至120d的对应的致动器之间实现流体连通(例如,室604a和与旋翼桨叶120a相关联的致动器之间的流体连通)。

[0115] 一些实施方式的教示认识到:径向流体装置600可以在相对紧凑的空间提供IBC。

例如,特征在于以3000PSI工作压力进行操作的四桨叶旋翼系统的9000磅直升机可以利用径向流体装置,例如测量大约6英寸乘6英寸乘11英寸(不包括凸轮调节器)的径向流体装置600。在本示例中,当所有其他频率可以被调整大小(size)以提供10%的正常周期权限时,泵部620和620'可以被调整大小以提供20%的正常周期权限。

[0116] 在一些实施方式中,缸体块604可以以与驱动轴112b相同的速度旋转。一些实施方式的教示认识到:以与驱动轴112b相同的速度旋转缸体块604可以允许来自径向流体装置600的谐波输出与围绕驱动轴112b旋转的旋翼桨叶120a至120d同步。在图10S的示例中,外部电源以与驱动轴112b相同的速度旋转轴602,这使得缸体块604也以相同的速度旋转。一些实施方式的教示认识到:径向流体装置600可以很适合以与驱动轴112b相同的速度操作。例如,其他设置的直升机液压泵可以以大约5000RPM操作,并且与径向流体装置600相似的位移的工业径向泵可以以大约1500RPM操作,而旋翼速度通常低于这些速度(例如,400RPM至500RPM)。

[0117] 在图10A至图10S的示例中,径向流体装置600被配置成在四桨叶旋翼系统中提供IBC。然而,一些实施方式的教示认识到:关于径向流体装置600所描述的概念可以通过适应活塞、凸轮和端口连接的布置来适合于支持具有更多桨叶或更少桨叶(例如,两个桨叶、三个桨叶、五个桨叶、六个桨叶、七个桨叶等)的旋翼系统的IBC。例如,图11A至图11K示出了被配置成提供五桨叶旋翼系统中的IBC的径向流体装置700。

[0118] 图11A示出了径向流体装置700的顶视图。径向流体装置700以结合共用缸体块6704(图10A中未示出)一起旋转的多个堆叠的径向活塞部为特征。在图11A至图11J的示例中,径向流体装置700以与轴702和缸体块704一起旋转的堆叠的径向活塞部720至760和720'至760'为特征。

[0119] 如下面将更详细示出的,轴702耦接至缸体块704。在一些实施方式中,轴702被可拆装地耦接至缸体块704。例如,不同的轴702可以具有不同的齿轮花键,安装者可以从不同的轴702中进行选择用于与径向流体装置600一起使用。

[0120] 缸体块704在径向流体装置700内旋转。在图11A至图11J的示例中,缸体块704的旋转轴线与轴702同轴。轴承可以将缸体块704与径向流体装置700的不旋转机体分离开。

[0121] 每个泵部对(例如,部720和720'、730和730'等)专用于生成特定频率的期望波形。在图11A至图11J的示例中,泵部对专用于生成2/转至6/转的期望波形。在本示例中,基本周期运动(1/转)通过机械斜盘(例如图2的斜盘116)而生成。

[0122] 尽管径向流体装置700中的泵部对专用于生成2/转至6/转的期望波形,但是一些实施方式的教示认识到:其他的流体装置可以包括专用于生成更多、更少或不同的期望波形的泵部。例如,通过一些频率提供的性能益处可以是最小的,并且会消除生成这些频率的泵部。作为一个示例,径向流体装置700的变化可以仅以专用于2/转(惯性)和4/转(集体谐波)的泵部为特征,其中基本周期运动(1/转)通过机械斜盘生成。

[0123] 来自径向流体装置700中的每个泵部对的单独的部分频率可以被液压地求和,以对每个致动器生成最终的期望波形,例如上面关于图9B所描述的波形。具体地,如下面将更详细说明的,歧管770将液压求和后的流体从径向流体装置700传递给与旋翼系统中的每个桨叶相对应的致动器。

[0124] 在本示例实施方式中,径向流体装置700的泵部730至760和730'至760'可以以与

径向流体装置600的泵部630至660和630至660'相似的方式操作。例如,图11B示出了沿着图11A所示的横截面线的泵部730的横截面视图。在操作中,泵部730可操作以提供如图11C中所示的通过桨叶120a至120d产生周期桨叶运动(3/转)的液压流量。以这种方式,图11C中的桨叶的运动与图3B中的桨叶的运动类似。

[0125] 径向流体装置700还包括相应的泵部730'。泵部730和730'可以一起操作,以与泵部730和730'如何一起操作生成周期桨叶运动(3/转)类似地生成周期桨叶运动(3/转)。

[0126] 如图11B所示,泵部730以活塞731a至731e、凸轮732、凸轮齿轮733、驱动齿轮734和凸轮调节器735为特征。每个活塞731a至731e被可滑动地容纳在与室704a至704e相关联的相应缸体内。类似地,泵部730'的每个活塞731a'至731e'也被可滑动地容纳在与室704a至704e相关联的相应缸体内。以这种方式,相应的活塞731a和731a'共用室704a,相应的活塞731b和731b'共用室704b,相应的活塞731c和731c'共用室704c,相应的活塞731d和731d'共用室704d,以及相应的活塞731e和731e'共用室704e。另外,活塞731a和731a'、活塞731b和731b'、活塞731c和731c'、活塞731d和731d'以及活塞731e和731e'与径向流体装置700的其他泵部的活塞共用室。

[0127] 凸轮齿轮733、驱动齿轮734和凸轮调节器735可以结合地调节凸轮732的位置。在一些实施方式中,可以独立地调节凸轮732和732'的相对位置。例如,可以沿相同的方向或相反的方向旋转凸轮732和732',并且凸轮732的旋转距离可以不必须匹配凸轮732'的旋转距离。

[0128] 图11D示出了沿着图11A中所示的横截面线的泵部740的横截面视图。在操作中,泵部740可操作以提供如图11E所示的通过桨叶120a至120d产生集体桨叶运动(4/转)的液压流量。以这种方式,图11E中的桨叶的运动与图4A至图4D中的桨叶的运动类似。

[0129] 径向流体装置700还包括相应的泵部740'。泵部740和740'可以一起操作,以与泵部640和640'如何一起操作生成集体桨叶运动(4/转)类似地生成集体桨叶运动(4/转)。

[0130] 如图11D所示,泵部740以活塞741a至741e、凸轮742、凸轮齿轮743、驱动齿轮744和凸轮调节器745为特征。每个活塞741a至741e被可滑动地容纳在与室704a至704e相关联的相应缸体内。类似地,泵部740'的每个活塞741a'至741e'也被可滑动地容纳在与室704a至704e相关联的相应缸体内。以这种方式,相应的活塞741a和741a'共用室704a,相应的活塞741b和741b'共用室704b,相应的活塞741c和741c'共用室704c,相应的活塞741d和741d'共用室704d,以及相应的活塞741e和741e'共用室704e。另外,活塞741a和741a'、活塞741b和741b'、活塞741c和741c'、活塞741d和741d'以及活塞741e和741e'与径向流体装置700的其他泵部的活塞共用室。

[0131] 凸轮齿轮743、驱动齿轮744和凸轮调节器745可以结合地调节凸轮742的位置。在一些实施方式中,可以独立地调节凸轮742和742'的相对位置。例如,可以沿相同的方向或相反的方向旋转凸轮742和742',并且凸轮742的旋转距离可以不必须匹配凸轮742'的旋转距离。

[0132] 图11F示出了沿着图11A中所示的横截面线的泵部750的横截面视图。在操作中,泵部750可操作以提供如图11G所示的通过桨叶120a至120d产生周期桨叶运动(5/转)的液压流量。以这种方式,图11G中的桨叶的运动与图3C中的桨叶的运动类似。

[0133] 径向流体装置700还包括相应的泵部750'。泵部750和750'可以一起操作,以与泵

部650和650'如何一起操作生成周期桨叶运动(5/转)类似地生成周期桨叶运动(5/转)。

[0134] 如图11F所示,泵部750以活塞751a至751e、凸轮752、凸轮齿轮753、驱动齿轮754和凸轮调节器755为特征。每个活塞751a至751e被可滑动地容纳在与室704a至704e相关联的相应缸体内。类似地,泵部750'的每个活塞751a'至751e'也被可滑动地容纳在与室704a至704e相关联的相应缸体内。以这种方式,相应的活塞751a和751a'共用室704a,相应的活塞751b和751b'共用室704b,相应的活塞751c和751c'共用室704c,相应的活塞751d和751d'共用室704d,以及相应的活塞751e和751e'共用室704e。另外,活塞751a和751a'、活塞751b和751b'、活塞751c和751c'、活塞751d和751d'以及活塞751e和751e'与径向流体装置700的其他泵部的活塞共用室。

[0135] 凸轮齿轮753、驱动齿轮754和凸轮调节器755可以结合地调节凸轮752的位置。在一些实施方式中,可以独立地调节凸轮752和752'的相对位置。例如,可以沿相同的方向或相反的方向旋转凸轮752和752',并且凸轮752的旋转距离可以不必须匹配凸轮752'的旋转距离。

[0136] 图11H示出了沿着图11A中所示的横截面线的泵部760的横截面视图。在操作中,泵部760可操作以提供如图11I所示的通过桨叶120a至120d产生惯性桨叶运动(6/转)的液压流量。以这种方式,图11I中的桨叶的运动与图5B中的桨叶的运动类似。

[0137] 径向流体装置700还包括相应的泵部760'。泵部760和760'可以一起操作,以与泵部660和660'如何一起操作生成惯性桨叶运动(6/转)类似地生成惯性桨叶运动(6/转)。

[0138] 如图11H所示,泵部760以活塞761a至761e、凸轮762、凸轮齿轮763、驱动齿轮764和凸轮调节器765为特征。每个活塞761a至761e被可滑动地容纳在与室704a至704e相关联的相应缸体内。类似地,泵部760'的每个活塞761a'至761e'也被可滑动地容纳在与室704a至704e相关联的相应缸体内。以这种方式,相应的活塞761a和761a'共用室704a,相应的活塞761b和761b'共用室704b,相应的活塞761c和761c'共用室704c,相应的活塞761d和761d'共用室704d,以及相应的活塞761e和761e'共用室704e。另外,活塞761a和761a'、活塞761b和761b'、活塞761c和761c'、活塞761d和761d'以及活塞761e和761e'与径向流体装置700的其他泵部的活塞共用室。

[0139] 凸轮齿轮763、驱动齿轮764和凸轮调节器765可以结合地调节凸轮762的位置。在一些实施方式中,可以独立地调节凸轮762和762'的相对位置。例如,可以沿相同的方向或相反的方向旋转凸轮762和762',并且凸轮762的旋转距离可以不必须匹配凸轮762'的旋转距离。

[0140] 在图11B至图11I的示例中,每个活塞被相继端口连接到具有72度径向间隔的3/转、4/转、5/转和6/转的五桨叶频率的相应桨叶致动器。然而,对于使用椭圆形凸轮的2/转惯性运动,一些实施方式的教示认识到:对于五桨叶旋翼系统,活塞端口可以在泵部720中交叉。具体地,交叉端口连接可以允许流体装置700使用具有72度间隔的活塞,以生成144度间隔的桨叶运动,这可以满足2/转惯性运动的要求。

[0141] 图11J示出了沿着图11A中所示的横截面线的泵部720的横截面视图。在操作中,泵部720可操作以提供如图11K所示的通过桨叶120a至120d产生惯性桨叶运动(2/转)的液压流量。以这种方式,图11K中的桨叶的运动与图5A中的桨叶的运动类似。

[0142] 径向流体装置700还包括相应的泵部720'。泵部720和720'可以一起操作,以与泵

部620和620'如何一起操作生成惯性桨叶运动(2/转)类似地生成惯性桨叶运动(2/转),除了对于五桨叶旋翼系统而言泵部720中的活塞端口被交叉。

[0143] 如图11J所示,泵部720以活塞721a至721e、凸轮722、凸轮齿轮723、驱动齿轮724和凸轮调节器725为特征。每个活塞721a至721e被可滑动地容纳在与室704a至704e相关联的相应缸体内。然而,不同于泵部730至760,对于一些活塞,活塞721a至721e与室704a至704e之间的对应关系被交叉。在图11J的示例中,活塞721a被可滑动地容纳在与室704a相关联的缸体内,活塞721b被可滑动地容纳在与室704c相关联的缸体内,活塞721c被可滑动地容纳在与室704e相关联的缸体内,活塞721d被可滑动地容纳在与室704b相关联的缸体内,以及活塞721e被可滑动地容纳在与室704d相关联的缸体内。类似地,活塞721a'被可滑动地容纳在与室704a相关联的缸体内,活塞721b'被可滑动地容纳在与室704c相关联的缸体内,活塞721c'被可滑动地容纳在与室704e相关联的缸体内,活塞721d'被可滑动地容纳在与室704b相关联的缸体内,以及活塞721e'被可滑动地容纳在与室704d相关联的缸体内。以这种方式,相应的活塞721a和721a'共用室704a,相应的活塞721b和721b'共用室704c,相应的活塞721c和721c'共用室704e,相应的活塞721d和721d'共用室704b,以及相应的活塞721e和721e'共用室704d。另外,活塞721a和721a'、活塞721b和721b'、活塞721c和721c'、活塞721d和721d'以及活塞721e和721e'与径向流体装置700的其他泵部的活塞共用室。

[0144] 凸轮齿轮723、驱动齿轮724和凸轮调节器725可以结合地调节凸轮722的位置。在一些实施方式中,可以独立地调节凸轮722和722'的相对位置。例如,可以沿相同的方向或相反的方向旋转凸轮722和722',并且凸轮722的旋转距离可以不必须匹配凸轮722'的旋转距离。

[0145] 实现部分权限IBC

[0146] 如上所述,径向流体装置600可以向用于在部分权限IBC系统中使用的多个致动器提供正弦波形幅值和同步位移控制。例如,径向流体装置600可以包括专用于生成2/转至6/转的期望波形的泵部对。在本示例中,基本周期运动(1/转)通过机械斜盘(例如图2的斜盘116)而生成。如下面将更详细说明的,一些实施方式的教示认识到将径向流体装置600内的液压流体的谐波压力变化转换成桨叶120a至120d的移动的能力。

[0147] 图12A示出了根据一种示例实施方式的IBC系统800。IBC系统800是部分权限IBC系统,其以径向流体装置600、液压控制歧管810、液压转体820、四个俯仰连杆致动器830a至830d(对应于旋翼桨叶120a至120d)、液压泵840、液压贮存器850和热交换器860为特征。

[0148] 如图12A至图12E所示,IBC系统800可以包括提供多个部件之间的流体连通的多个流体管线。为了方便,这些流体管线中的一些已经被标记为“a”、“b”、“c”、“d”、“e”或“f”。在这些示例实施方式中,标记“a”至“d”对应于室604a至604d以及桨叶120a至120d。例如,流体管线“a”可以表示在室604a与桨叶120a之间的路径中的流体管线。流体管线“e”可以指代系统流体,并且流体管线“f”可以指代回流流体,下面将更详细地对这两者进行描述。

[0149] 在操作中,根据一种示例实施方式,径向流体装置600向液压控制歧管810提供液压流体。液压控制歧管通过液压转体820导引流体,液压转体820被配置成将来自旋翼飞行器的固定框架部分的流体流量传送至旋翼飞行器的旋转框架部分。在一种示例实施方式中,液压转体820向上沿着驱动轴向俯仰连杆致动器830a至830d提供流体,这将提供的液压流体的压力变化转换成旋翼桨叶120a至120d的移动。

[0150] 除了将流体从径向流体装置600提供至俯仰连杆致动器830a至830d之外,IBC系统800还将系统流体从液压泵840提供至俯仰连杆致动器830a至830d。该系统流体表示恒压流体供给。一些实施方式的教示认识到:例如由于可以改变供给流体的压力的泄漏或其他效应,供给流体可以不一定保持恒定。供给流体可以被提供至俯仰连杆致动器830a至830d,以提供抵制来自径向流体装置600的液压流体的压力的平衡。过多的流体还可以在再提供至液压泵840之前,通过液压控制歧管810和液压转体820被累积,通过热交换器860被传递,以及在液压泵850中被存储。

[0151] 图12B示出了根据一种示例实施方式的液压控制歧管810。液压控制歧管810以阀812和控制端口814为特征。

[0152] 在操作中,根据一种示例实施方式,液压控制歧管810从径向流体装置600的室604a至604d接收流体,并且将流体连通至阀812和控制端口814。在本示例实施方式中,液压控制歧管810通过与缸体块604一起旋转的歧管670从室604a至604d接收流体。歧管670包括每个室604a至604d的端口。另外,歧管670包括围绕室604a至604d的每个端口的密封件。此外,歧管670包括累积泄露的液压流体并将累积的液压流体回流至贮存器850的回流端口。

[0153] 径向流体装置600可以不包括独立地调整(trim)俯仰连杆致动器冲程位置以均衡它们的长度并关于中心冲程保持IBC操作的供应件。因此,液压控制歧管810可以包括阀812,阀812可操作以调整每个俯仰连杆致动器830a至830d的位置并且补偿泄露的液压流体。在一种示例实施方式中,阀812为三通直接驱动阀。

[0154] 如果流体压力降到阈值以下,则阀812可以将供给流体添加至流体管线a至d。可替代地,如果流体压力升高至大约阈值,则阀812可以从相关联的流体管线a至d中移除流体。在一种示例实施方式中,阀812从与俯仰连杆致动器830a至830d相关联的位置传感器接收测量结果,然后基于所接收的测量结果将流体添加至流体管线a至d或将流体从流体管线a至d中移除。来自位置传感器的测量结果可以表示例如已经从IBC系统800内的不同流体管线中泄露的流体的量。作为另一示例,来自位置传感器的测量结果可以表示流体管线压力是否应当被调节以调整每个俯仰连杆致动器830a至830d的位置。

[0155] 在一种示例实施方式中,阀812可以调节IBC系统800中的漂移和泄露,但阀812不可以驱动系统压力的高频变化。反而,高频变化可以通过径向流体装置600实现。一些实施方式的教示认识到:仅使用系统压力的低频变化的阀可以减小所需要的阀的大小并且增加阀的寿命。

[0156] 控制端口814在液压控制歧管810与液压转体820之间连通流体。一些实施方式的教示认识到:在一些系统故障的情况下,控制端口814还可以终止流体流量。在图12B的示例中,每个控制端口814配备有螺线管旁路阀。在例如要求与传统的飞行控制系统中隔离的部分权限系统故障的情况下,IBC系统800可以将动力移除至与每个控制端口814相关联的螺线管旁路阀。作为响应,控制端口814切断至它们的压力减轻/旁路阀的压力,使得它们将系统流体重新导引至回引到贮存器850的液压流体回流管线f。重新导引系统流体阻止系统流体到达俯仰连杆致动器830a至830d,如下面将更详细说明的,这使得俯仰连杆致动器830a至830d锁定在它们的中心冲程位置。

[0157] 图12C示出了根据一种示例实施方式的液压转体820。液压转体820包括旋转部分822和固定部分824。旋转部分822包括在俯仰连杆致动器830a至830d与不旋转部分824之间

连通流体的端口822a至822d。旋转部分822还包括在俯仰连杆致动器830a至830d与不旋转部分824之间连通系统流体的端口822e。旋转部分822包括在俯仰连杆致动器830a至830d与不旋转部分824之间连通回流流体的端口822f。

[0158] 旋转部分还包括每个端口822a至822f之间的旋转密封件823。一些实施方式的教示认识到：提供用于回流流体的端口822f和密封件823两者可以延长密封件寿命并且减少或消除与有害的泄露相关联的问题。

[0159] 旋转部分还包括从俯仰连杆致动器830a至830d向IBC系统800的不旋转部分传送信号的布线。在一个示例实施方式中，布线包括与俯仰连杆致动器830a至830d相关联的每个位置传感器的布线以及提供励磁动力的三根公共布线。

[0160] 固定部分824包括在端口822a至822d与流体管线a至d之间连通流体的流体管线824a至824d。固定部分824还包括在端口822e与流体管线e之间连通流体的流体管线824e。固定部分824包括在端口822f与流体管线f之间连通流体的流体管线824f。

[0161] 图12D示出了根据一种示例实施方式的俯仰连杆致动器830a。俯仰连杆致动器830a可操作以在旋翼飞行器100的操作期间改变桨叶120a的位置。类似地，俯仰连杆致动器830a至830d可操作以分别改变桨叶120a至120d的位置。

[0162] 在一种示例实施方式中，俯仰连杆致动器830a可以耦接在毂114与斜盘116之间，以使得俯仰连杆致动器830a可以改变毂114与斜盘116之间的距离。在本示例中，俯仰连杆致动器830a耦接在毂114与斜盘116之间，但不必须耦接至毂114和/或斜盘116。例如，俯仰连杆致动器830a可以耦接至与毂114和/或斜盘116机械连通的其他部件。另外，俯仰连杆致动器830a可以仅改变毂114与斜盘116之间的距离的一个测量结果。例如，俯仰连杆致动器830a可以改变毂114与接近俯仰连杆致动器830a的斜盘116之间的距离，然而，毂114与接近俯仰连杆致动器830b的斜盘116之间的距离可以保持相同。

[0163] 在图12D的示例中，俯仰连杆致动器830a包括线性液压致动器，线性液压致动器包括活塞832a，活塞832a将控制室831a与系统室833a分离。控制室831a从管线a接收流体。系统室833a从管线e接收受控的系统流体。在操作中，活塞832a响应于控制室831中的流体与系统室833a中的流体之间的压力差而移动。

[0164] 在图12D的示例中，活塞832a是不平衡的。控制室831a的一侧的活塞面积大于系统室833a的一侧的活塞面积。在本示例中，系统室833a中的系统流体可以通过对活塞832a产生恒力、液压弹簧效应来阻止液压空化发生。

[0165] 一些实施方式的教示认识到：俯仰连杆致动器830a至830d可以在操作期间保存液压动力。例如，在高次谐波周期运动和惯性运动期间，由于总计的相反的正弦流量要求抵消，由俯仰连杆致动器830a至830d使用的总的净流量可以接近零。例如，在惯性运动期间，活塞832a的下行冲程可以通过活塞832b的上行冲程抵消。

[0166] 另一方面，高次谐波集体运动可以要求显著更多的流体一致正弦地移动所有的桨叶。在本示例中，俯仰连杆致动器830a至830d可以将大体积的流体向后推入IBC系统800的其余的部件中或将大体积的流体从IBC系统800的其余的部件排出。然而，一些实施方式的教示认识到：液压储能器可以捕获和恢复IBC系统800的旋翼框架侧的该液压能量。在图12A的示例中，液压储能器连接至系统流体管线e。

[0167] 在图12D的示例中，俯仰连杆致动器830a还包括位置传感器834a。位置传感器834a

可以测量活塞832a的位移距离。位置传感器834a的一个示例可以包括线性可变差动变压器。位置传感器834a可以用作反馈控制系统的一部分。例如,径向流体装置600的凸轮可以被编程以产生活塞832a的期望的位移距离。如果位置传感器834a测量到与期望的位移距离不同的位移距离,则会导致一个或更多个问题。例如,IBC系统800可能泄露流体,这会改变室831a中的流体与833a中的流体之间的压力差,而这将改变活塞832a的位移距离。作为响应,IBC系统800可以采取一个或更多个纠正行动。作为一个示例,径向流体装置600的凸轮可以被重新定位以实现期望的位移距离。作为另一示例,阀812可以将流体添加到流体管线(例如,流体管线a至e)中或将流体从流体管线(例如,流体管线a至e)中移除,以调节俯仰连杆致动器830a中的流体压力。在一些实施方式中,调节径向流体装置600的凸轮可以更适合于产生流体压力的大的变化,而调节阀812可以更适合于流体压力的较小的变化或调整。

[0168] 在图12D的示例中,俯仰连杆致动器830a还包括冲程锁836a。冲程锁836a可以在系统故障的情况下阻止活塞832a移动。如图12D所示,冲程锁836a将系统流体与弹簧分离。弹簧提供与来自系统流体的压力相反的力。如图12E所示,如果例如来自系统流体的压力减小或消除,来自弹簧的力将弹簧锁836a推向活塞832a,并且阻止活塞832a移动。例如,如果控制端口814e阻止系统流体到达俯仰连杆致动器830a,则将会出现这种情形。

[0169] 全部权限IBC

[0170] 上面所描述的示例径向流体装置600生成位移变化以驱动高次谐波运动(例如,2/转至6/转),但不必须生成基本周期运动(例如,1/转)。在一些实施方式中,径向流体装置600可以通过提供与泵部620相似的单瓣泵部来提供基本周期运动。然而,在一些情形下,基本周期运动必须比高次谐波运动更快速地被实现,因为飞行员可以通过基本周期运动操纵旋翼飞行器的方向。在这些情形下,由径向流体装置600使用的实现高次谐波运动的径向活塞方法对于基本周期运动来说将会太慢。因而,在一些实施方式中,关于径向流体装置600所描述的高次谐波方法将会不适合基本周期运动。

[0171] 在一些实施方式中,还可以使用IBC系统800的阀812实现基本周期运动。例如,阀812能够改变流体管线压力,以便在俯仰连杆致动器830a至830d上实现基本周期运动。如上面所说明的,阀812可以更适合于实现小的压力变化,然而,基本周期运动会要求流体管线的大的压力变化。增加阀812中的阀流量增益以实现这些大的压力变化可以增加满舵故障的风险。另外,在该情况下由阀812消耗的动力和生成的热量可以引起额外的问题。

[0172] 一些实施方式的教示认识到下述能力:该能力快速生成基本周期致动器运动同时还保护免受满舵故障的影响,保存液压动力和最小化热量生成。一些实施方式的教示还认识到下述能力:该能力通过液压生成基本周期运动从旋翼系统中消除机械旋翼斜盘。

[0173] 图13A至图13M示出了根据一种示例实施方式的径向流体装置900。图13A示出了径向流体装置900的侧视图,以及图13B示出了径向流体装置900的顶视图。径向流体装置900以结合共用缸体块904(在图13A和图13B中未示出)一起旋转的多个堆叠的径向活塞部分为特征。

[0174] 在图13A至图13M的示例中,径向流体装置900以基本周期泵910以及与轴902、缸体块904和歧管970一起旋转的堆叠的径向活塞部分920至960和920'至960'为特征。堆叠的径向活塞部分920至960和920'至960'的实施方式可以类似于堆叠的径向活塞部分620至660和620'至660',并且与堆叠的径向活塞部分620至660和620'至660'相似地操作。

[0175] 如下面将更详细示出的,轴902耦接至缸体块904。在一些实施方式中,轴902可拆装地耦接至缸体块904。例如,不同的轴902可以具有不同的齿轮花键,并且安装者可以从不同的轴902中进行选择用于与径向流体装置600一起使用。

[0176] 缸体块904在径向流体装置900内旋转。在图10A至图10M的示例中,缸体块904的旋转轴线与轴902同轴。轴承可以将缸体块904与径向流体装置900的不旋转机体分离。

[0177] 基本周期泵910和每个泵部对(例如,部920和920'、930和930'等)专用于生成特定频率的期望波形。在图13A至图13M的示例中,基本周期泵910专用于生成基本周期运动(1/转)的期望波形,并且泵部对专用于生成2/转至6/转的期望波形。

[0178] 尽管径向流体装置900中的泵部对专用于生成2/转至6/转的期望波形,但是一些实施方式的教示认识到:其他的流体装置可以包括专用于生成更多、更少或不同的期望波形的泵部。例如,通过一些频率提供的性能益处可以是最小的,并且可以消除生成这些频率的泵部。作为一个示例,径向流体装置900的变化可以仅以专用于2/转(惯性)和4/转(集体谐波)的泵部为特征,其中基本周期运动(1/转)通过基本周期泵910生成。

[0179] 来自径向流体装置900中的基本周期泵910和每个泵部对的单独的部分频率可以被一起液压地求和,以对每个致动器生成最终的期望波形,例如上面关于图9B所描述的波形。具体地,如下面将更详细说明的,歧管970将液压求和后的流体从径向流体装置900传递至与旋翼系统中的每个桨叶相对应的致动器。

[0180] 图13C示出了沿着图13B中表示的横截面线的基本周期泵910的横截面视图。基本周期泵910以四个活塞911a至911d为特征。每个活塞911a至911d被可滑动地容纳在与室904a至904d相关联的相应缸体内。每个室904a至904d表示缸体块904内的流体连通的多个缸体。每个室904a至904d可以具有使径向流体装置900退出控制不同的IBC致动器的独立出口。

[0181] 基本周期泵910还以凸轮912为特征。在操作期间,活塞911a至911d取决于凸轮912与缸体块904的旋转轴线之间的距离向内冲程和向外冲程。每个活塞911a至911d朝向和远离缸体块904的旋转轴线往复运动。因此,朝向和远离旋转轴线的每次往复运动包括两次冲程:下行冲程和上行冲程。

[0182] 在图13C的示例中,凸轮912为圆形凸轮,并且具有一个瓣。瓣的数量表示在缸体块904的一个完全旋转期间活塞完成了多少次正弦冲程运动。例如,每个活塞911a至911d在缸体块904的一个旋转期间完成一次正弦冲程运动。基本周期泵910在一个旋转期间完成一次正弦冲程运动的能力对应于基本周期运动所需要的每转一次桨叶振荡。

[0183] 重新定位凸轮912可以改变每个活塞911a至911d的位移距离。在图13C的示例中,定位活塞913、914和915可以重新定位凸轮912。在本示例中,定位活塞913耦接至凸轮912,并且定位活塞914和915耦接至与凸轮912相关联的曲柄。

[0184] 凸轮912可以通过改变与定位活塞913、914和915相关联的缸体中的至少一个的压力而被重新定位。定位活塞913、914和915可以允许凸轮912在两个垂直轴线上平移,类似于斜盘横向和纵向运动。壳体周围凸轮912可以被尺度化以提供限制横向和纵向周期行程的停止件。

[0185] 在图13C的示例中,与定位活塞913相关联的缸体中的流体被保持在相对恒定的系统压力,以及与定位活塞914和915相关联的缸体中的流体可以变化以重新定位凸轮912。定

位活塞913可以操作为液压弹簧以对抗通过定位活塞914和915施加的力。

[0186] 在图13C的示例中,基本周期泵910包括位置传感器916和917。位置传感器916和917可以分别对定位活塞914和915的位移距离进行测量。位置传感器的一个示例可以包括线性可变差动变压器。

[0187] 阀918和919可以向与定位活塞913、914和/或915相关联的缸体提供流体。在一些实施方式中,阀918和919可以改变它们的孔口的大小,以改变与定位活塞914和915相关联的缸体中的流体的压力。在一个示例实施方式中,阀918和919为三通直接驱动阀。在一些实施方式中,阀918和919可以是单线圈或双线圈三通阀。

[0188] 在一些情形下,如果缸体块904是(例如,以旋翼速度)旋转的,并且凸轮912与输入轴轴线同中心地被定位,则活塞911a至911d不冲程。这种情形不产生被发送至IBC致动器的用于基本周期运动的流体位移控制。

[0189] 然而,平移凸轮912离开该同中心位置可以产生被发送至IBC致动器的用于基本周期运动的流体位移控制变化。例如,图13D示出了收缩的定位活塞914和915可以如何重新定位凸轮912。图13D的示例在一些情形下可以对应于全向前纵向周期位置。如图13D所示的移动凸轮912产生如图13E所示的每个桨叶120a至120d的基本周期运动。

[0190] 作为另一示例,图13F示出了伸长的定位活塞914和915可以如何重新定位凸轮912。图13F的示例在一些情形下可以对应于全后向周期运动。如图13F所示的移动凸轮912产生如图13G所示的每个桨叶120a至120d的基本周期运动。相比于图13E和13G的示例,图13E中的桨叶120a与图13G中的桨叶120a为180度异相。

[0191] 基本周期泵910还可以实现横向周期运动以及纵向周期运动。例如,图13H示出了收缩的定位活塞914和伸长的活塞915可以如何重新定位凸轮912。图13H的示例在一些情形下可以对应于全左向横向周期位置。如图13H所示移动凸轮912产生如图13I所示的每个桨叶120a至120d的基本周期运动。

[0192] 作为另一示例,图13J示出了伸长的定位活塞914和收缩的定位活塞915可以如何重新定位凸轮912。图13J的示例在一些情形下可以对应于全右向纵向位置。如图13J所示移动凸轮912产生如图13K所示的每个桨叶120a至120d的基本周期运动。比较图13I和13K的示例,图13I中的桨叶120a与图13K中的桨叶120a为180度异相。比较图13E和13I的示例,图13E中的桨叶120a与图13I中的桨叶120a为90度异相。

[0193] 在图13A至13K的示例中,基本周期泵910被配置成在四桨叶旋翼系统中提供基本周期运动。然而,一些实施方式的教示认识到:关于基本周期泵910所描述的概念可以适合于支持具有更多桨叶或更少桨叶(例如,两个桨叶、三个桨叶、五个桨叶、六个桨叶、七个桨叶等)的旋翼系统的IBC。

[0194] 例如,图13L示出了被配置成提供五桨叶旋翼系统中的IBC的基本周期泵910'。在本示例中,基本周期泵910'以与五桨叶旋翼系统中的每个桨叶相对应的五个活塞911a'至911e'为特征。基本周期泵910'还以凸轮912'、定位活塞913'至915'、位置传感器916'和917'、以及阀918'和阀919'为特征,凸轮912'、定位活塞913'至915'、位置传感器916'和917'、以及阀918'和阀919'可以以与基本周期泵910中的相应的部件相似的方式操作。

[0195] 图13M示出了沿着图13B所示的横截面线的径向流体装置900的横截面视图。如图13M所示,生成2/转至6/转的基本周期泵910和所有的泵部围绕同一缸体块904被定位。另

外,基本周期泵910和所有的泵部共用相同的室904a至904d。每个室904a至904d通过歧管970端口连接到径向流体装置900之外。歧管970可以使得能够在每个室904a至904d与具有旋翼桨叶120a至120d的相应致动器之间进行流体连通(例如,室904a和与旋翼桨叶120a相关联的致动器之间的流体连通)。

[0196] 在一些实施方式中,缸体块904可以以与驱动轴112b相同的速度旋转。一些实施方式的教示认识到:以与驱动轴112b相同的速度旋转缸体块904可以允许来自径向流体装置900的谐波输出与围绕驱动轴112b旋转的旋翼桨叶120a至120d同步。在图13M的示例中,外部电源以与驱动轴112b相同的速度旋转轴902,这使得缸体块904也以相同的速度旋转。

[0197] 实现全部权限IBC

[0198] 如上所述,径向流体装置900可以向用于在全部权限IBC系统中使用的多个致动器提供正弦波形幅值和同步位移控制。例如,径向流体装置900可以包括专用于生成1/转至6/转的期望波形的基本周期泵和泵部对。在本示例中,可以从旋翼系统中消除机械斜盘,例如图2的斜盘116。如下面将更详细说明的,一些实施方式的教示认识到下述能力:将径向流体装置900内的液压流体的谐波压力变化转换成桨叶120a至120d的移动。

[0199] 图14A示出了根据一种示例实施方式的IBC系统1000。IBC系统1000为全部权限IBC系统,全部权限IBC系统以径向流体装置900、液压控制歧管1100、液压转体1200、四个桨叶致动器1300a至1300d(对应于旋翼桨叶120a至120d)、液压泵1400、液压贮存器1500和热交换器1600为特征。

[0200] 如图14A至图14C和图15A至图15E所示,IBC系统1000可以包括提供多个部件之间的流体连通的多个流体管线。为了方便,这些流体管线中的一些已经被标记为“a”、“b”、“c”、“d”、“e”或“f”。在这些示例实施方式中,标记“a”至“d”对应于室904a至904d和桨叶120a至120d。例如,流体管线“a”可以表示在室904a与桨叶120a之间的路径中的流体管线。流体管线“e”可以指代系统流体,并且流体管线“f”可以指代回流流体,在下面将更详细地对这两者进行描述。

[0201] 在操作中,根据一种示例实施方式,径向流体装置900向液压控制歧管1110提供液压流体。液压控制歧管通过液压转体1200导引流体,液压转体1200被配置成将来自旋翼飞行器的固定框架部分的流体流量传递给旋翼飞行器的旋转框架部分。在一种示例实施方式中,液压转体1200向上沿着驱动轴向桨叶致动器1300a至1300d提供流体,这将供给的液压流体的压力变化转换成旋翼桨叶120a至120d的移动。

[0202] 除了将流体从径向流体装置900提供至桨叶致动器1300a至1300d之外,IBC系统1000还将系统流体从液压泵1400提供至桨叶致动器1300a至1300d。该系统流体表示恒压流体供给。一些实施方式的教示认识到:例如由于可以改变供给流体的压力的泄漏或其他效应,供给流体可以不一定保持恒定。供给流体可以被提供至桨叶致动器1300a至1300d,以提供抵制来自径向流体装置900的液压流体的压力的平衡。过多的流体还可以在再提供至液压泵1400之前通过液压控制歧管1100和液压转体1200被累积,通过热交换器1600被传递,以及被存储在液压贮存器1500中。

[0203] 图14B示出了根据一种示例实施方式的液压控制歧管1100。液压控制歧管1100以阀1112和控制端口1114为特征。

[0204] 在操作中,根据一种示例实施方式,液压控制歧管1100从径向流体装置900的室

904a至904d接收流体,并且将流体连通至阀1112和控制端口1114。在本示例实施方式中,液压控制歧管1100通过与缸体块904一起旋转的歧管970从室904a至904d接收流体。歧管970包括用于每个室904a至904d的端口。另外,歧管970包括围绕室904a至904d的每个端口的密封件。此外,歧管970包括回流端口以累积泄露的液压流体并且将累积的液压流体回流至贮存器1500。

[0205] 径向流体装置900可以不包括独立地调整桨叶致动器冲程位置以均衡它们的长度和关于中心冲程保持IBC操作的供应件。因此,液压控制歧管1100可以包括阀1112,阀1112可操作以调整每个桨叶致动器1300a至1300d的位置并且补偿泄露的液压流体。在一种示例实施方式中,阀1112为三通直接驱动阀。

[0206] 如果流体压力降低到阈值以下,则阀1112可以将供给流体添加至流体管线a至d。可替代地,如果流体压力升高到大约阈值,则阀1112可以从流体管线a至d中移除流体。在一种示例实施方式中,阀1112从与桨叶致动器1300a至1300d相关联的位置传感器接收测量结果,然后基于所接收的测量结果将流体添加至流体管线a至d或将流体从流体管线a至d中移除。来自位置传感器的测量结果可以表示例如已经从IBC系统1000内的不同的流体管线泄漏的流体的量。作为另一示例,来自位置传感器的测量结果可以表示流体管线压力是否应当被调节以调整每个桨叶致动器1300a至1300d的位置。

[0207] 在一种示例实施方式中,阀1112可以在IBC系统1000中调节漂移和泄露,但阀1112不可以驱动系统压力的高频变化。反而,高频变化可以通过径向流体装置900实现。一些实施方式的教示认识到:仅使用系统压力的低频变化的阀可以减小所需要的阀的大小并且增加阀的寿命。

[0208] 不同于部分权限IBC系统800,全部权限IBC系统1000包括针对每个旋翼桨叶的两个阀1112(例如,针对旋翼桨叶120a的两个阀1112a)。一些实施方式的教示认识到:多个阀1112将能够提供基本集体输入。在一些实施方式中,额外的阀1112可以添加或去除来自被困在径向流体装置900与桨叶致动器1300之间的体积的流体。因为提供基本周期和IBC的高频流量由径向流体装置900控制,所以阀900以是相对低的增益,从而最小化阀满舵故障的影响。

[0209] 即使具有相对低的增益,如果没有被快速旁路,全部权限IBC致动器的阀满舵故障可以产生旋翼不稳定性。一些实施方式的教示认识到:由于与从旋翼系统中移除机械斜盘相关联的风险,其余的系统会适合于全部权限IBC系统。因此,示例全部权限IBC系统1000包括针对每个旋翼桨叶的额外的阀1112。通过合并每个IBC致动器的两个阀,满舵故障可以通过沿相反的方向命令第二阀而被快速旁路。

[0210] 控制端口1114在液压控制歧管1100与液压转体1200之间连通流体。一些实施方式的教示认识到:在一些系统故障的情况下,控制端口1114还可以终止流体流动。在图14B的示例中,每个控制端口1114配备有螺线管旁路阀。在例如要求与传统的飞行控制系统隔离的全部权限系统故障的情况下,IBC系统1000可以将动力移除至与每个控制端口1114相关联的螺线管旁路阀。作为响应,控制端口1114切断至它们的压力减轻/旁路阀的压力,使得它们将系统流体重新导引到回引至贮存器1500的液压流体回流管线f。

[0211] 如下面将关于图17A和图17B更详细说明的,两个或更多个径向流体装置900可以并行操作。在该情形下,如果位移控制输出未被正确地同步,则会发生IBC致动器之间的损

害控制力斗争。如果例如压力同步故障或桨叶致动器意外地装底在固定叶片上,则可以引起损害控制压力和致动器负载。

[0212] 一些实施方式的教示认识到提供用于使多个径向流体装置900之间的操作同步的位置传感器的能力。在一些实施方式中,位置传感器可以设置在每个径向流体装置900的定位活塞913至915和/或高次谐波凸轮上。然而,在这些实施方式中,位置传感器可能不具有适当的分辨率以控制刚性系统中的力斗争(force fight)。因此,一些实施方式的教示认识到对每个IBC致动器的控制端口压力进行监视以控制IBC致动器之间的力斗争的能力。在一种示例实施方式中,每个控制端口1114包括位置传感器1116。位置传感器1116可以对与每个控制端口1114相关联的控制阀的位移距离进行测量。位置传感器的一个示例可以包括线性可变差动变压器。

[0213] 在一些实施方式中,每个控制端口1114可以通过与压力变化成比例地移位其控制阀来响应于控制端口压力的变化。每个位置传感器1116可以测量每个控制阀的位移量。如果控制端口压力超过允许的阈值,则阀1114可以将过量的压力端口输出至回流流体系统。阀1114可以通过对与阀1114相关联的螺线管施加电动力以及使所有的控制端口1114将流体端口输出至回流流体系统,有效地旁路整个系统,来将系统隔离故障。

[0214] 图14C示出了根据一种示例实施方式的液压转体1200。液压转体1200包括旋转部分1222和固定部分1224。旋转部分1222包括在桨叶致动器1300a至1300d与不旋转部分1224之间连通流体的端口1222a至1222d。旋转部分1222还包括在桨叶致动器1300a至1300d与不旋转部分1224之间连通系统流体的端口1222e。旋转部分1222包括在桨叶致动器1300a至1300d与不旋转部分1224之间连通回流流体的端口1222f。

[0215] 旋转部分还包括每个端口1222a至1222f之间的旋转密封件1223。一些实施方式的教示认识到:提供用于回流流体的端口1222f和密封件1223两者可以延长密封件寿命并且减少或消除与有害的泄露相关联的问题。

[0216] 旋转部分还包括用于从桨叶致动器1300a至1300d向IBC系统1000的不旋转部分传送信号的布线。在一个示例实施方式中,布线包括与桨叶致动器1300a至1300d相关联的每个位置传感器的两个布线以及提供励磁动力的每个叶片致动器的三个共用布线。

[0217] 固定部分1224包括在端口1222a至1222d与流体管线a至d之间连通流体的流体管线1224a至1224d。固定部分1224还包括在端口1222e与流体管线e之间连通流体的流体管线1224e。固定部分1224包括在端口1222f与流体管线f之间连通流体的流体管线1224f。

[0218] 图15A至图15F示出了根据一种示例实施方式的桨叶致动器1300a。图15A示出了桨叶致动器1300a的顶视图,以及图15B示出了桨叶致动器1300a的侧视图。桨叶致动器1300a可操作以在旋翼飞行器100的操作期间改变桨叶120a的位置。类似地,桨叶致动器1300b至1300d分别可操作以改变桨叶120b至120d的位置。

[0219] 在图15A至图15F的示例中,桨叶致动器1300a为液压旋转叶片致动器。在一些实施方式中,液压旋转叶片致动器可以在每个旋翼桨叶的根部处被提供动力。一些实施方式的教示认识到:相比于具有滑动密封件的等效动力线性液压致动器,叶片致动器由于它们对旋转密封件的依赖性而减少了泄露。另外,液压叶片致动器还可以具有相对高的刚度。

[0220] 如图15A和图15B所示,桨叶致动器1300a可以以轴1302和布置在壳体1310的一个或更多个开口内的旋转密封件1304为特征。如下面将更详细示出的,轴1302耦接至壳体

1310内的叶片。在一些实施方式中,不同的轴1302可以具有不同的齿轮花键,并且安装者可以从不同的轴1302中进行选择用于与不同的旋翼桨一起使用。旋转密封件1304围绕轴1302被定位,并且它将壳体1310的内部与壳体1310的外部分隔开。

[0221] 在一些实施方式中,旋转密封件1304为弹性膜密封件。一些实施方式的教示认识到:在轴1302被限制于特定范围的运动的情形下,弹性膜密封件可以是适合的。例如,弹性密封件可以耦接至轴1302,并且可以随着轴1302旋转而伸展,只要轴1302没有将弹性密封件伸展超过其弹性限制。在一些实施方式中,轴1302的角程可以被限于正/负18度旋转。在这些实施方式中,弹性膜密封件可以伸展以吸收正/负18度旋转。另外,如下面将关于图15D所说明的,弹性膜密封件不可暴露于高压下(例如,每平方英寸约100磅的回流流体压力),从而限制轴向液压力推挤密封件。

[0222] 在图15A和图15B的示例中,壳体1310包括使用螺栓1312连接在一起的多个部件。壳体1310还可以包括用于将桨叶致动器1300a稳固至旋翼飞行器的连接点1314。

[0223] 图15C示出了沿着图15B所示的横截面线的桨叶致动器1300a的横截面视图。如图15C所示,桨叶致动器1300a以固定叶片1320和叶片叶轮1330为特征。在本示例中,固定叶片1320限定三个室,但是其他实施方式可以限定更多室或更少室。叶片叶轮1330包括三个叶片表面,每个叶片表面延伸到固定叶片1320之间的相应室中。叶片叶轮1330被耦接至轴1302,以使得叶片叶轮1330的旋转引起轴1302的旋转。

[0224] 由固定叶片1320限定的每个室包括用于将流体连通到室中和连通到室外的两个开口。在每个室内,叶片叶轮1330的叶片表面将两个开口分离,以使得来自两个开口的流体可以在叶片表面的两侧累积并加压。在操作中,叶片表面的相对侧的流体压力差可以导致叶片表面(从而叶片叶轮1330作为整体地)旋转。

[0225] 在图15C的示例中,每个室包括在叶片表面的一侧的变压控制流体1322。在两个室中,回流流体1324被累积并且端口输出到桨叶致动器1300之外。在这两个室中,期望控制流体1322的压力大于回流流体1324的压力。在第三室中,提供近似恒定的系统流体1326抵御变压控制流体1324。在该第三室中,系统流体1326应用液压压力的恒源以抵御来自控制流体1322的压力,并且产生液压弹簧效应。在本示例中,最初的两个室结合地具有第三室的两倍的有效叶片面积,从而将变压控制流体1322移动叶片叶轮1330的能力加倍。

[0226] 在一些情形下,桨叶致动器1300a可以遭受泄露。例如,横跨旋转叶片中的矩形叶片表面的泄露可以高于缸体中的活塞致动器中的泄露。因此,一些实施方式的教示认识到:泄露的流体应当被端口回流至系统而非排到大气中。一些实施方式的教示还认识到下述能力:该能力用以使用该泄露的流体以提供连续的润滑,来支承桨叶致动器1300a中的轴承并在旋转密封件1304后面产生低压区域。

[0227] 图15D示出了沿着图15A中所示的横截面线的桨叶致动器1300a的横截面视图。如图15D所示,支承轴承1340可以支承桨叶致动器1300a内的轴1302的旋转。在本示例中,泄露流体可以润滑支承轴承1340,然后被端口输出至回流流体1324。另外,一些实施方式的教示认识到:在旋转密封件1304后面提供回流流体1324可以阻止旋转密封件1304遭受高液压力。

[0228] 图15E和图15F示出了在桨叶致动器1300a的操作期间沿着图15B所示的横截面线的桨叶致动器1300a的横截面视图。在图15E的示例中,控制流体1322的液压压力大于系统流体1326的液压压力,这迫使叶片叶轮1330逆时针旋转18度。在图15E的示例中,控制流体

1322的液压压力小于系统流体1326的液压压力,这迫使叶片叶轮1330顺时针旋转18度。

[0229] 在一些实施方式中,多个桨叶致动器1300可以被耦接在一起以串联操作。一些实施方式的教示认识到:每个桨叶提供多个桨叶致动器1300可以提供冗余并且在一个桨叶致动器故障的情况下减少灾难性故障。例如,图16A示出了串联地耦接在一起的两个桨叶致动器1300a,以及图16B示出了串联地耦接在一起的三个桨叶致动器1300a。在这些示例中的每个示例中,耦接组件1350将不同的桨叶致动器1300a的轴1302a耦接在一起。

[0230] 图17A和图17B示出了具有串联地耦接在一起的多个桨叶致动器1300的冗余IBC系统。在图17A中,IBC系统1400以针对每个旋转桨叶串联地耦接在一起的三个桨叶致动器1300(例如,旋翼桨叶120a耦接至三个桨叶致动器1300a)为特征。IBC系统1400还以三个飞行控制计算机(飞行控制计算机1410、1420和1430)为特征。每个飞行控制计算机与相应的径向流体装置900通信。如图17A所示,每个飞行控制计算机/径向流体装置组合可操作以控制每个旋翼桨叶的三个桨叶致动器1300之一。

[0231] 在操作中,根据一种示例实施方式,飞行控制计算机1410、1420和1430从输入装置1405接收周期指令和集体指令。输入装置1405的一个示例可以包括飞行员可接近的控制杆。每个飞行控制计算机1410、1420和1430对径向流体装置900进行编程以实现周期指令和集体指令。例如,每个飞行控制计算机可以发送下述信号:所述信号表示每个径向流体装置900的基本周期运动活塞和高次谐波凸轮应当如何被定位。

[0232] 每个飞行控制计算机1410、1420和1430还可以接收表示桨叶致动器1300是否彼此对抗的测量结果。例如,每个飞行控制计算机1410、1420和1430可以测量轴旋转速度、流体压力、和/或活塞/阀位移。在本示例中,飞行控制计算机1410、1420和1430之间的这些测量结果的差异可以表示两个或更多个桨叶致动器1300可以彼此对抗。因而,飞行控制计算机1410、1420和1430可以使用交叉信道数据链路而彼此通信,以共享同步信息。作为一个示例,如果两个桨叶致动器1300是机械对抗的,则两个相应的飞行控制计算机可以共享下述信息:该信息表示飞行控制计算机中的至少一个应当调节IBC系统的其部分内的流体管线压力。

[0233] 在图17B中,IBC系统1500以针对每个旋转桨叶串联地耦接在一起的两个桨叶致动器1300(例如,旋翼桨叶120a耦接至两个桨叶致动器1300a)为特征。IBC系统1500还以四个飞行控制计算机(飞行控制计算机1510、1520、1530和1540)为特征。不同于IBC系统1400,两个飞行控制计算机与一个相应的径向流体装置900通信。在本示例中,每个径向流体装置900与冗余飞行控制计算机通信,从而允许每个径向流体装置900继续给桨叶致动器1300提供动力,即使一个飞行控制计算机被禁用。

[0234] 一些实施方式的教示认识到:IBC系统可以包括任意数量的桨叶致动器、飞行控制计算机和径向流体装置。例如,数量(numbering)和配置可以取决于特定旋翼飞行器的安全性要求。

[0235] 在不背离本发明的范围的情况下,可以对本文中所描述的系统和设备作出修改、添加和省略。系统和设备的部件可以是集成的或分立的。此外,系统和设备的操作可以由更多部件、更少部件或另外的部件执行。方法可以包括更多步骤、更少步骤或另外的步骤。另外,可以以任何适当的顺序执行步骤。

[0236] 尽管已经详细示出并描述了几个实施方式,但是应当认识到的是,在不背离由所

附权利要求限定的、本发明的精神和范围的情况下,可以有替代方案和备选方案。

[0237] 为了帮助专利局和关于本申请所颁发的任何专利的任何读者理解本申请所附的权利要求,申请人希望指出的是:除非在特定权利要求中明确地使用了文字“用于……的装置(means for)”或“用于……的步骤(step for)”,否则申请人没有意图使在本申请提交日存在的任何所附权利要求援引35U.S.C. §112的第6款。

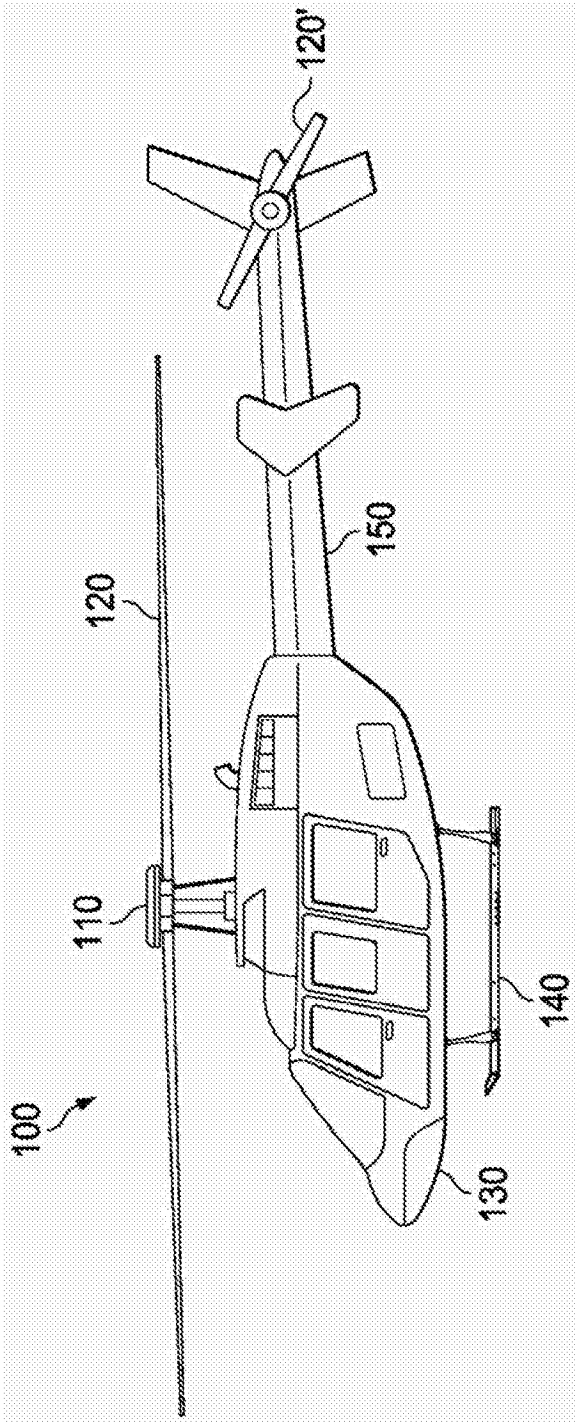


图1

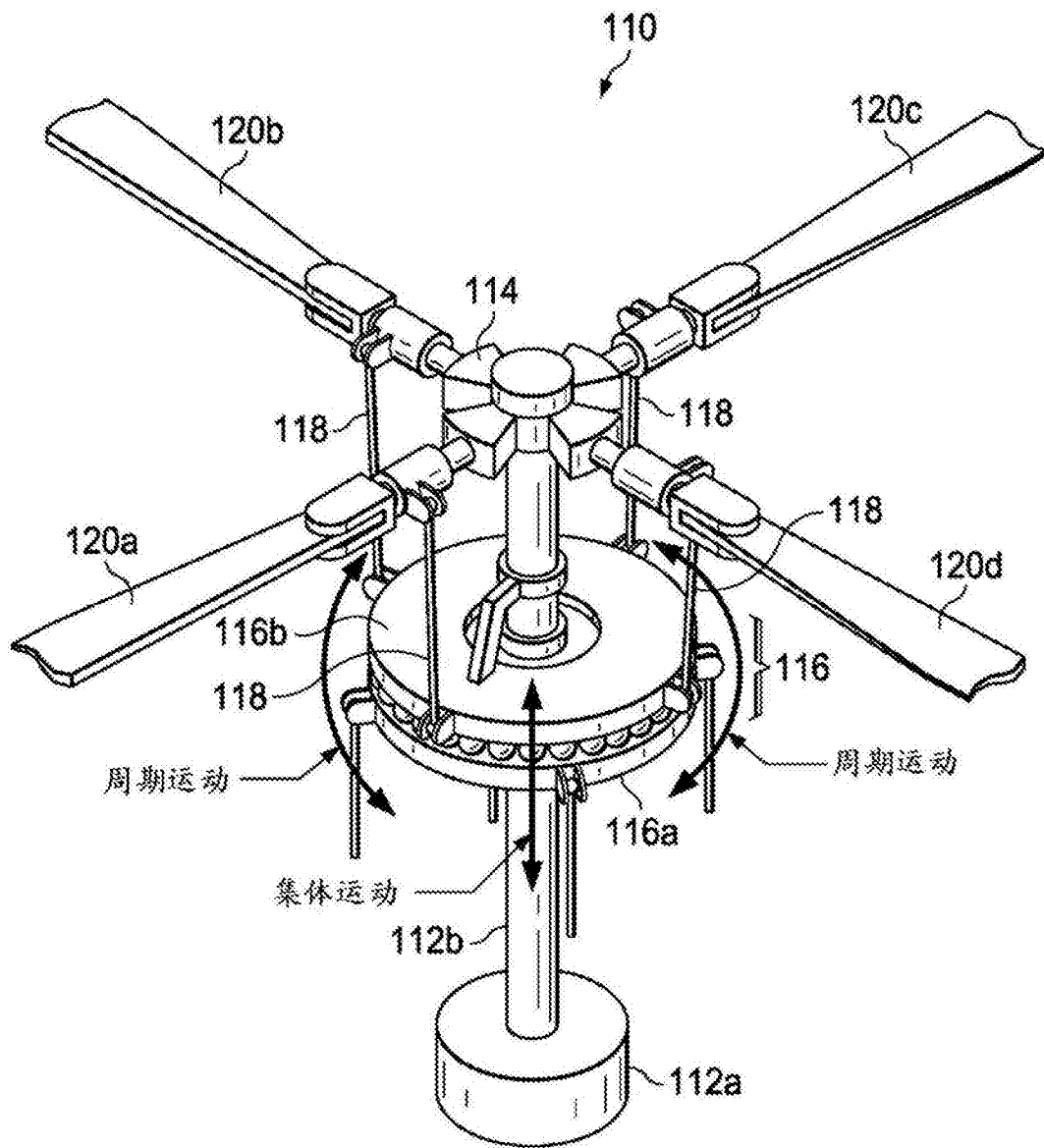


图2

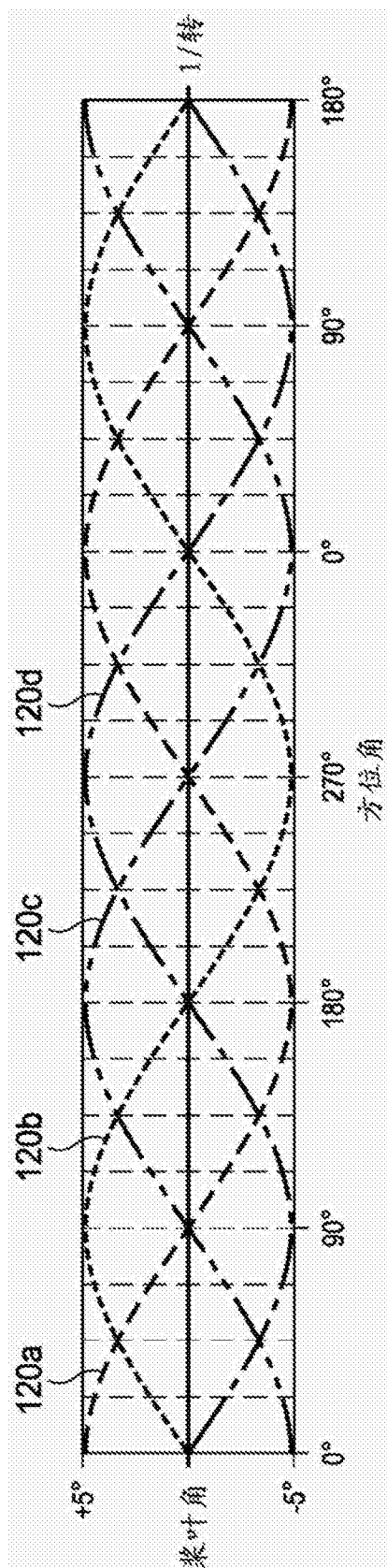


图3A

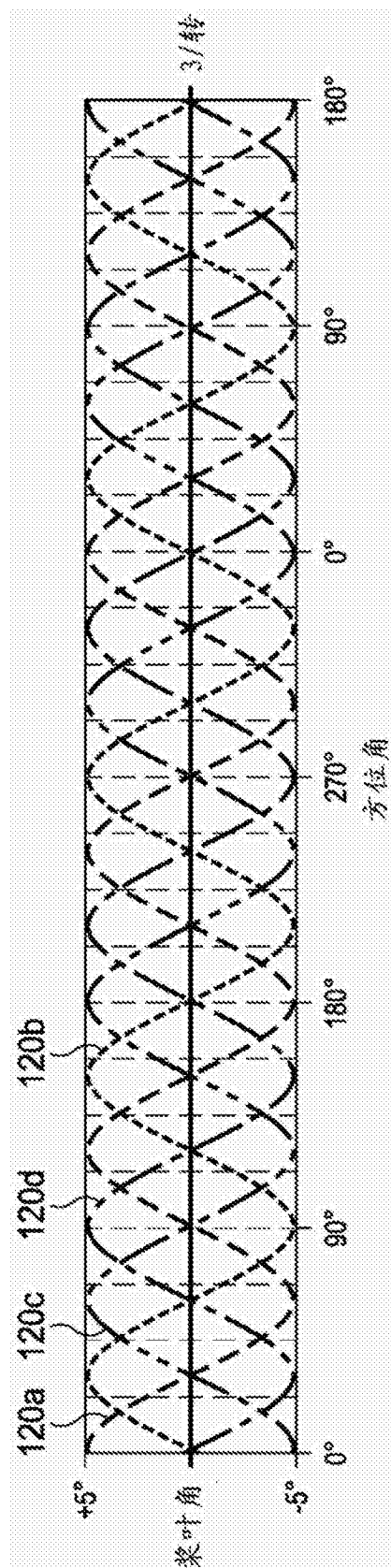


图3B

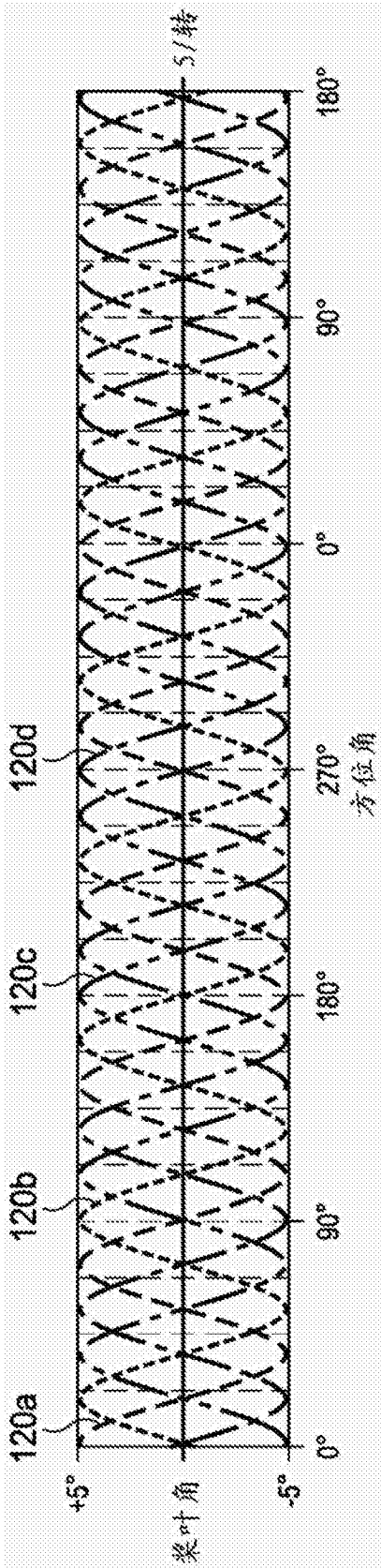


图3C

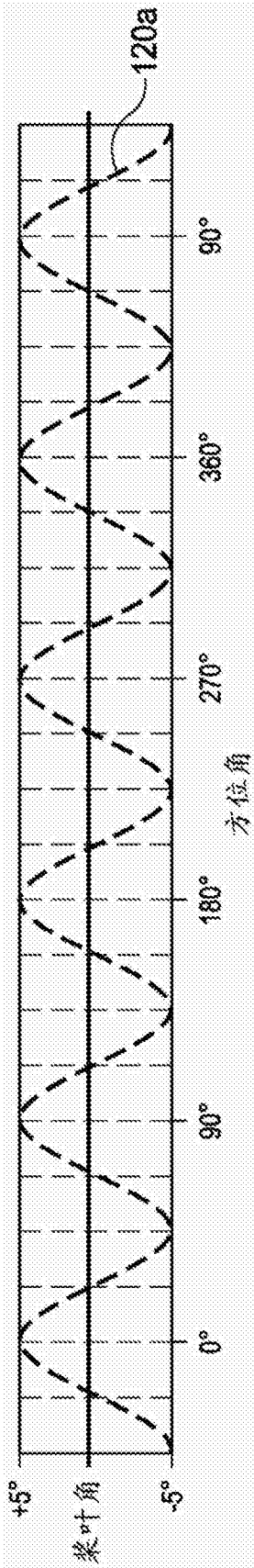


图4A

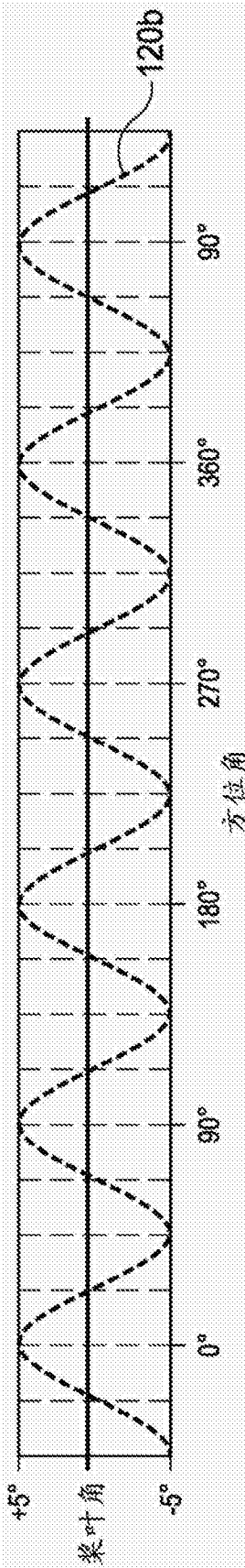


图4B

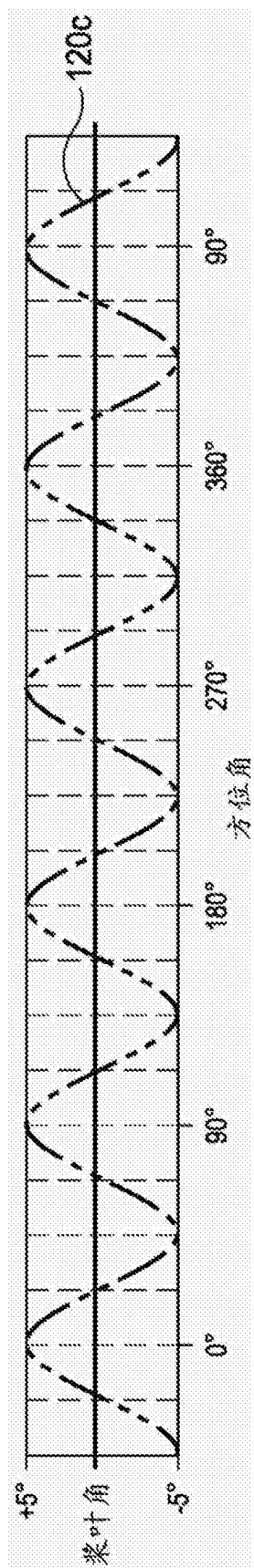


图4C

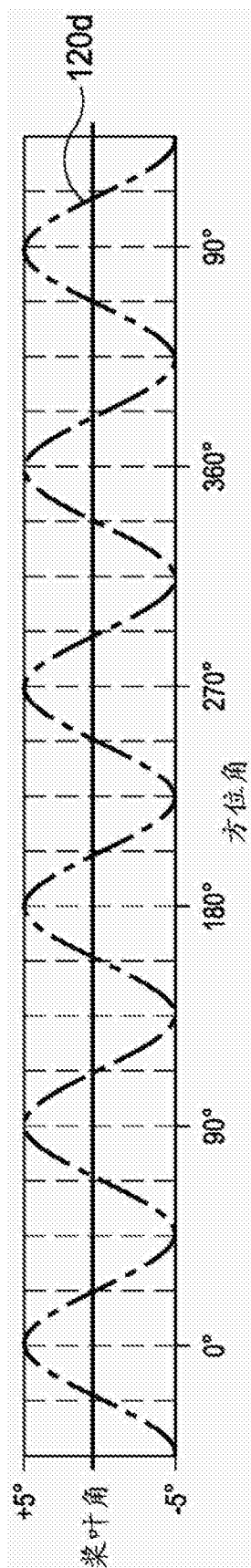


图4D

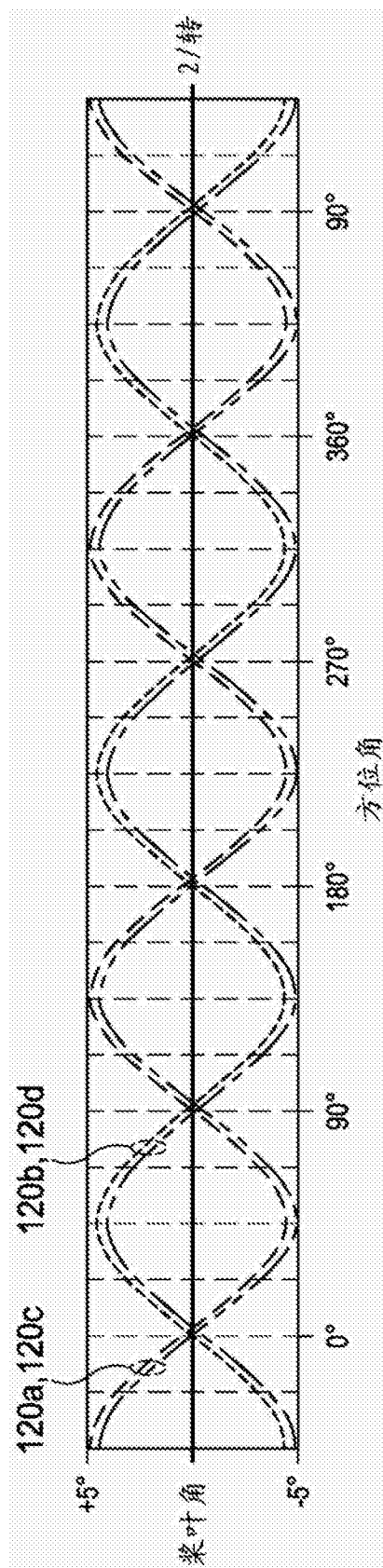


图5A

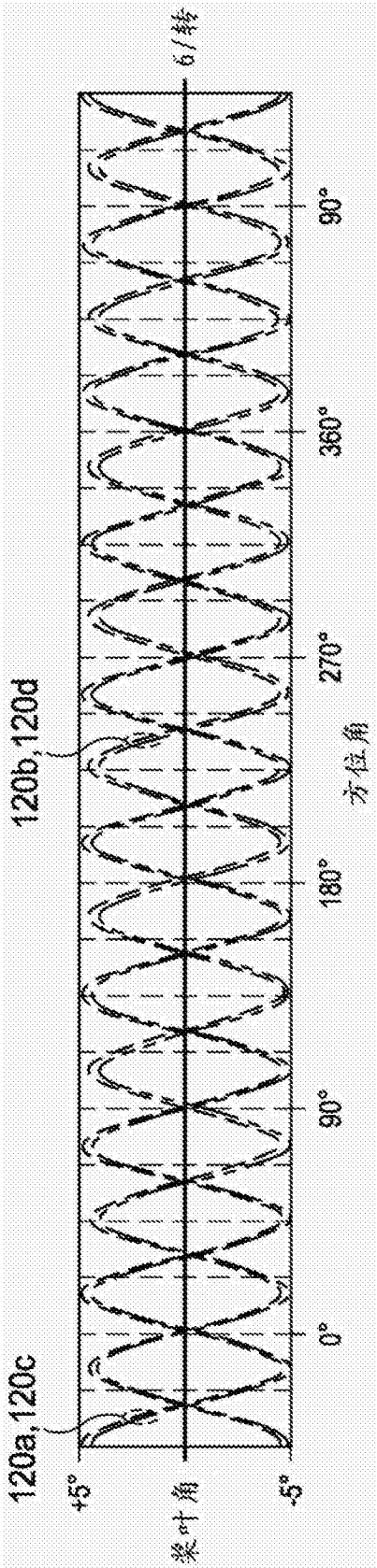


图5B

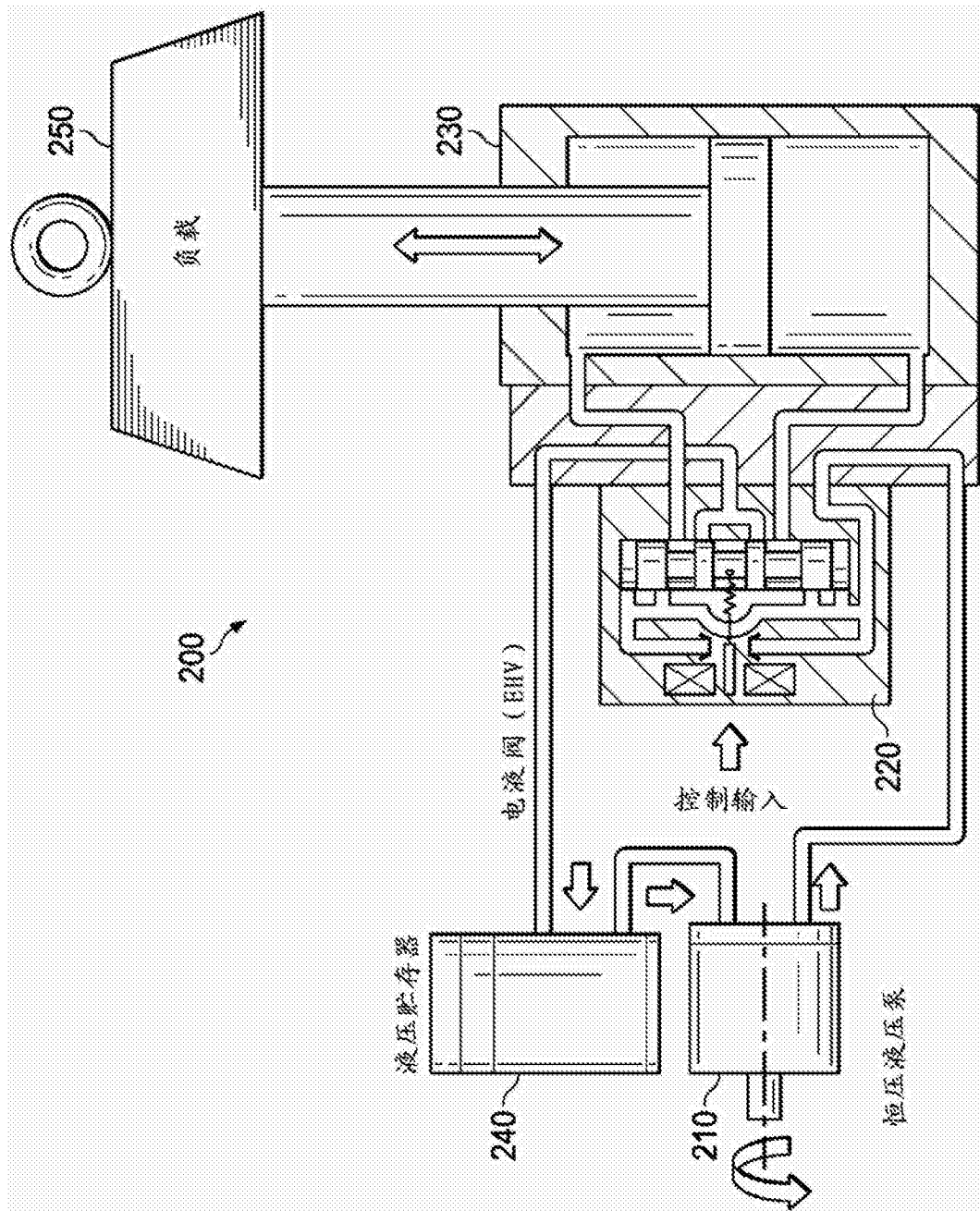


图6A(现有技术)

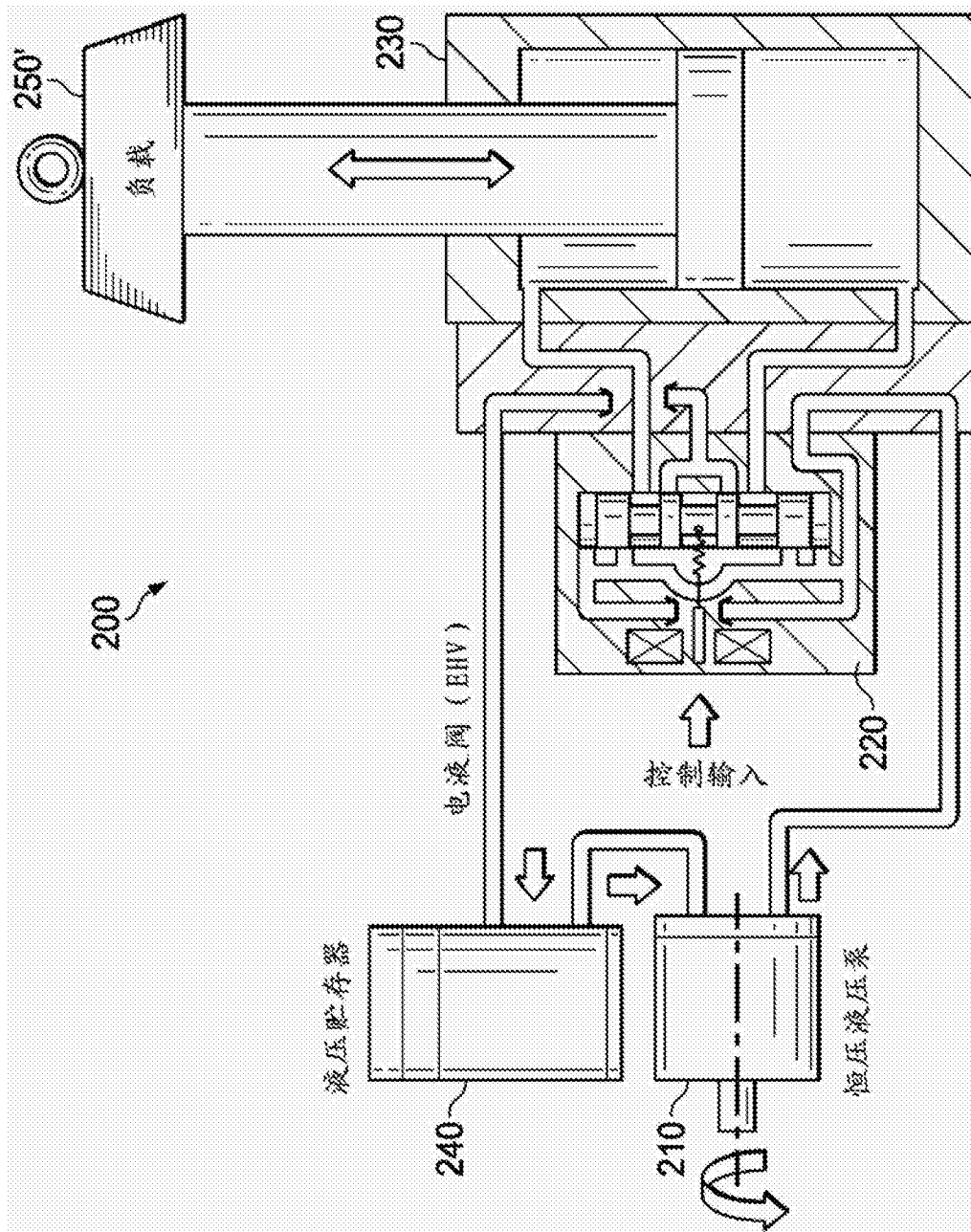


图6B(现有技术)

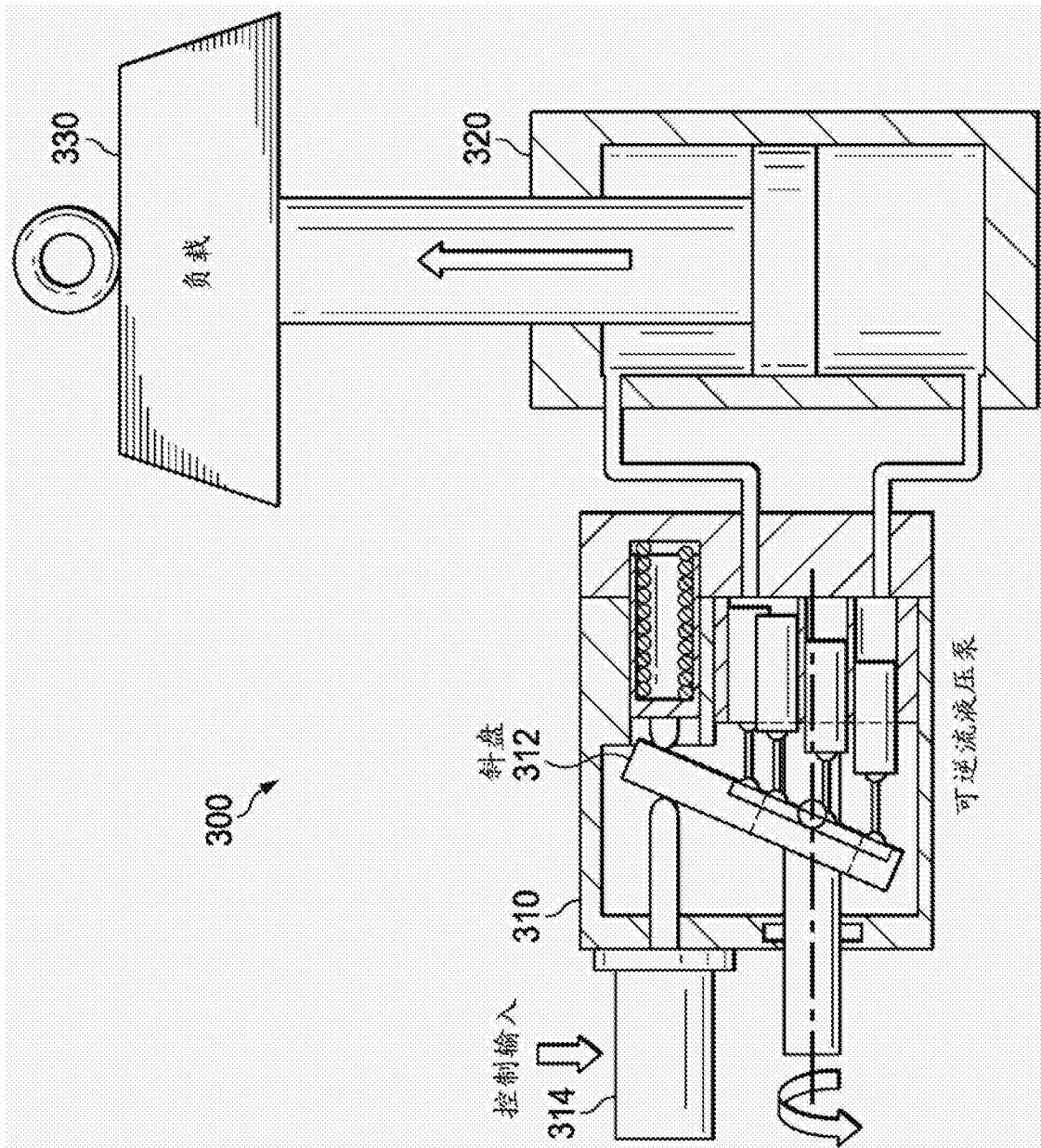


图7A(现有技术)

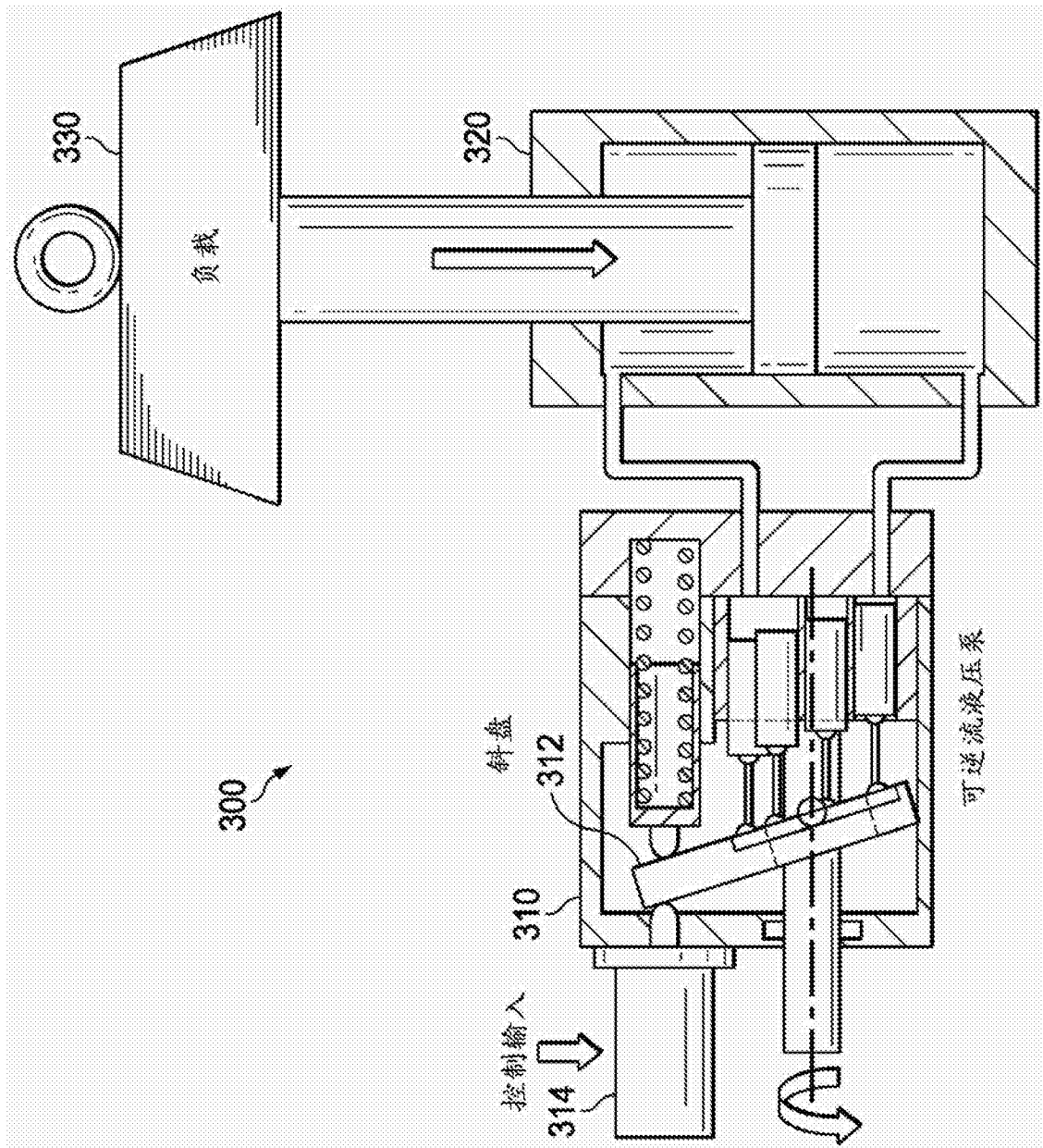


图7B(现有技术)

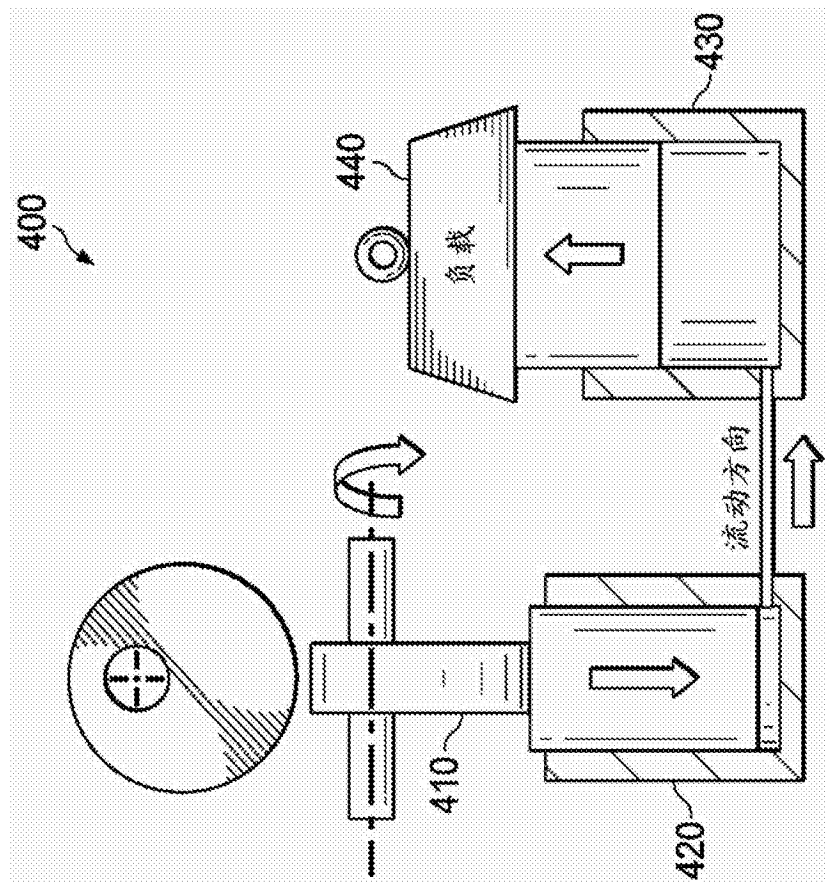


图8A

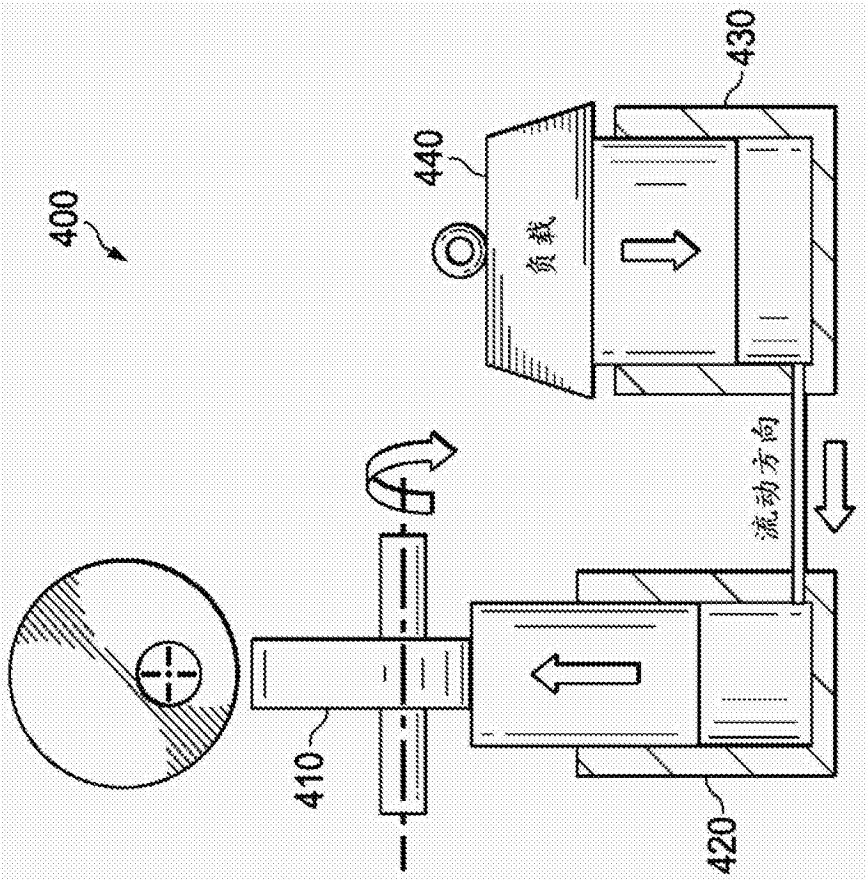


图8B

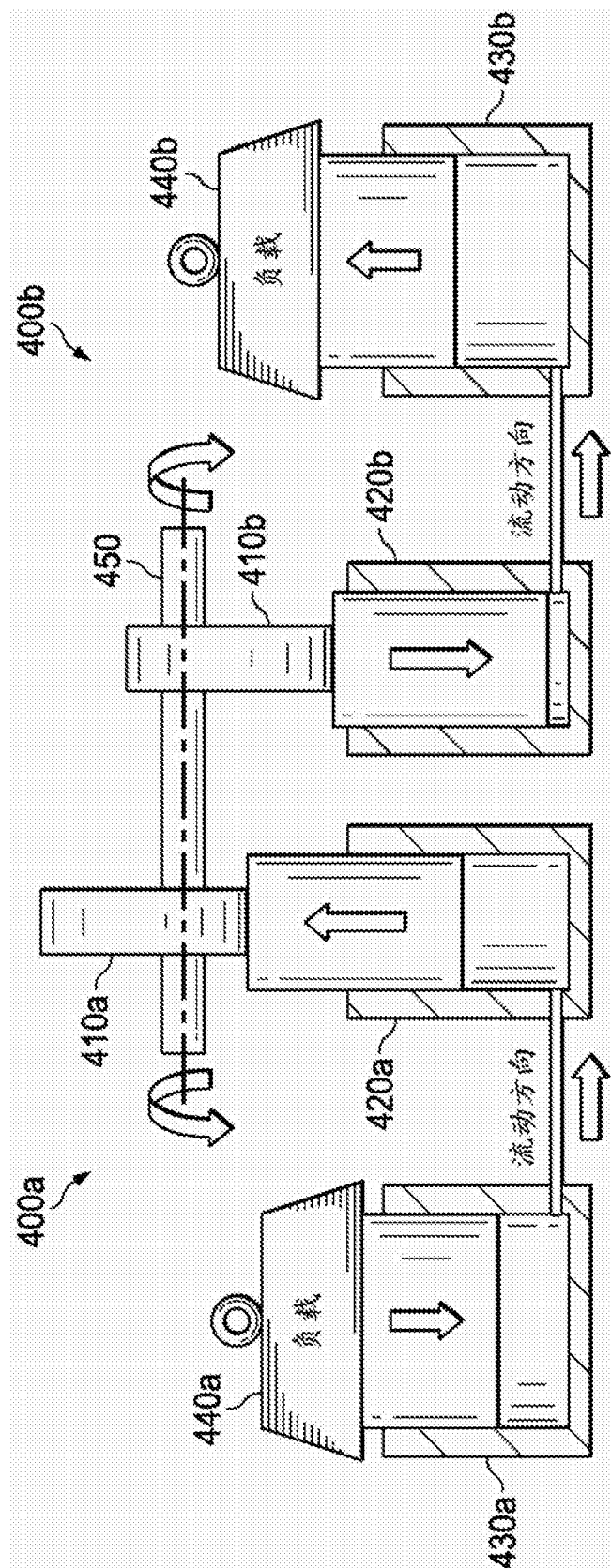


图8C

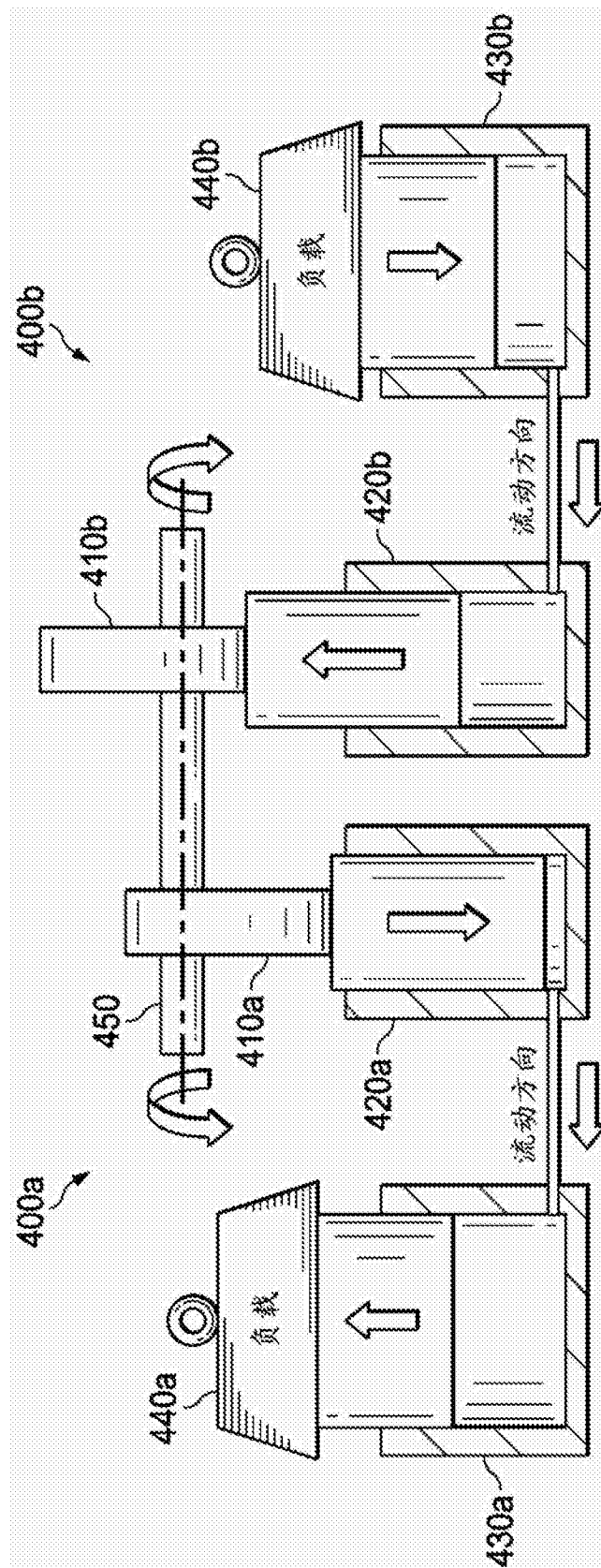


图8D

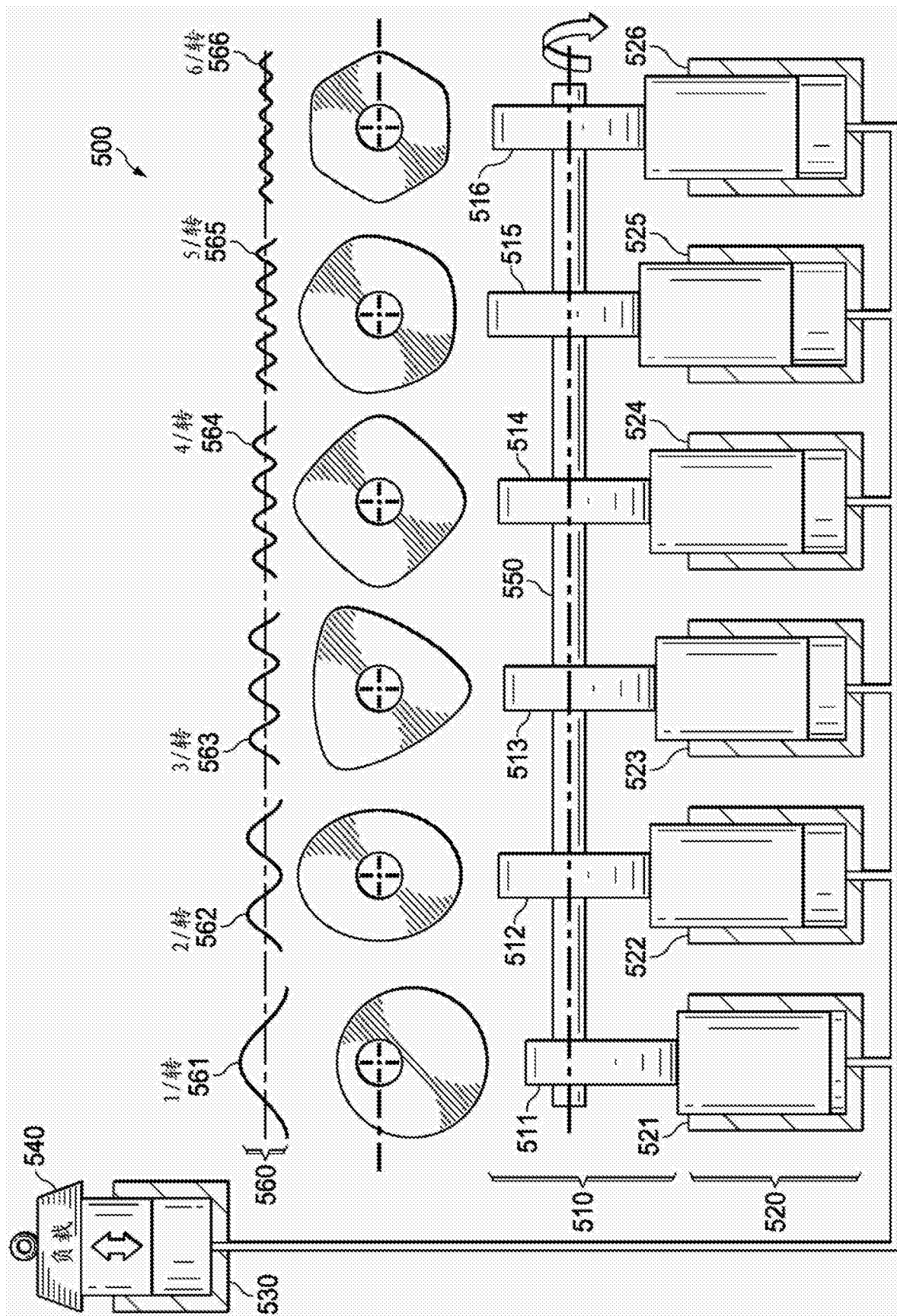


图9A

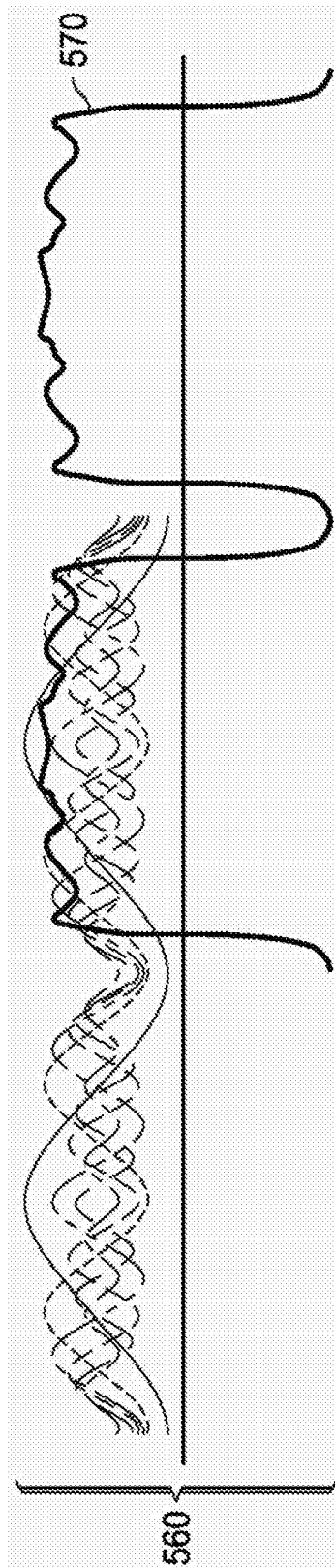


图9B

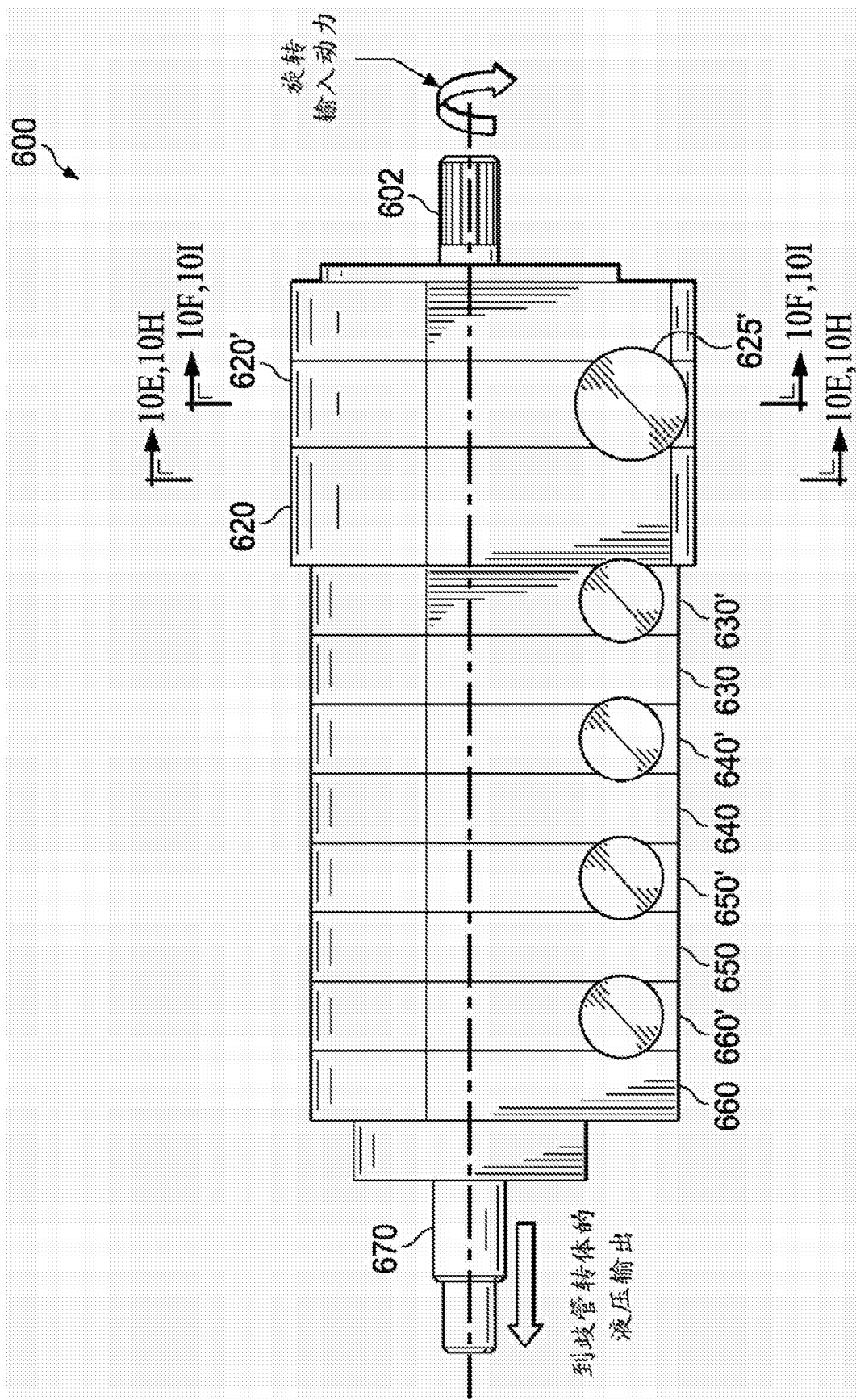


图10A

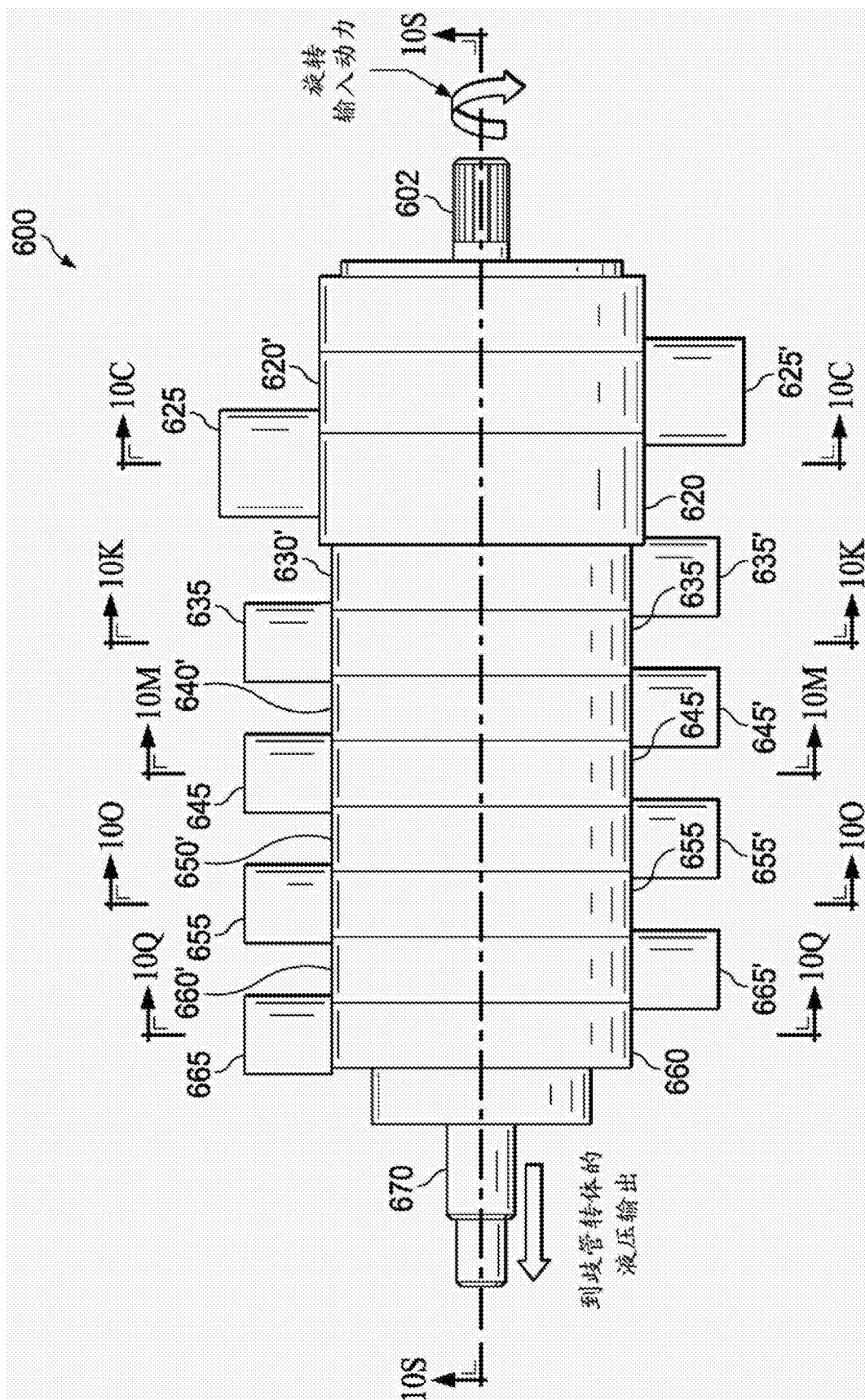


图10B

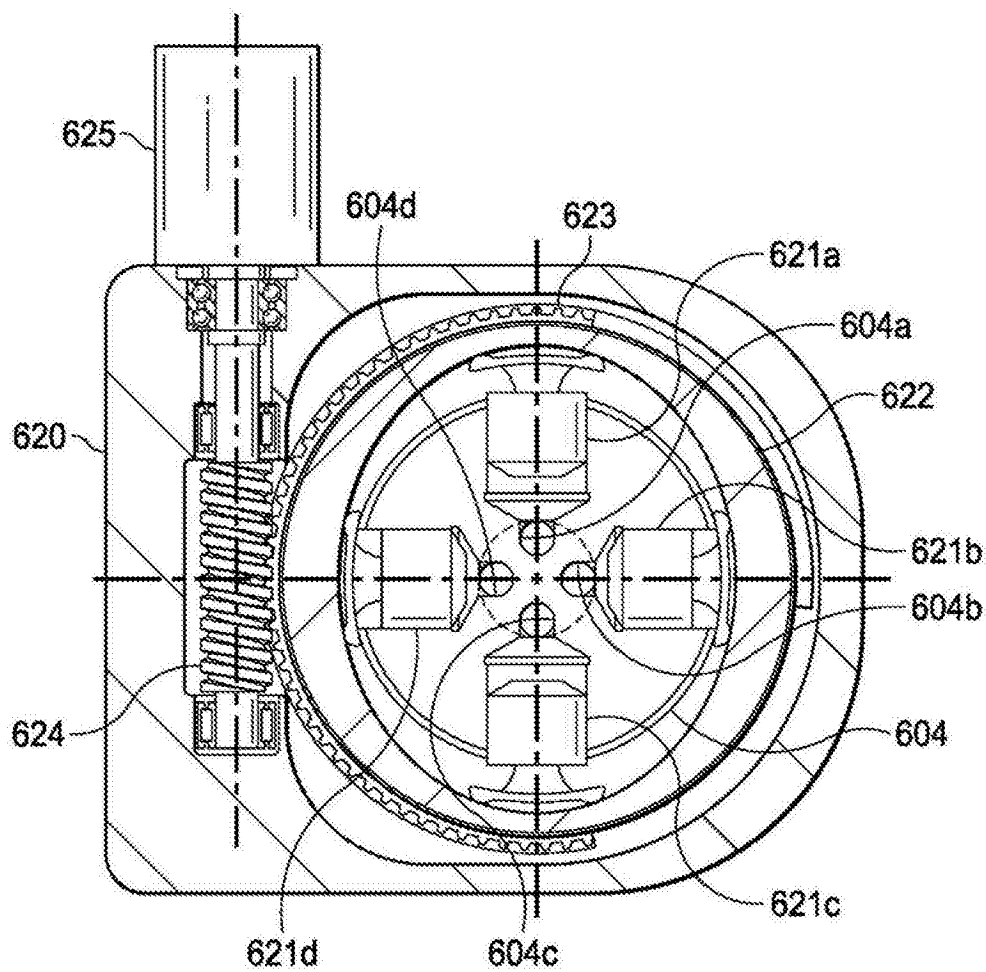


图10C

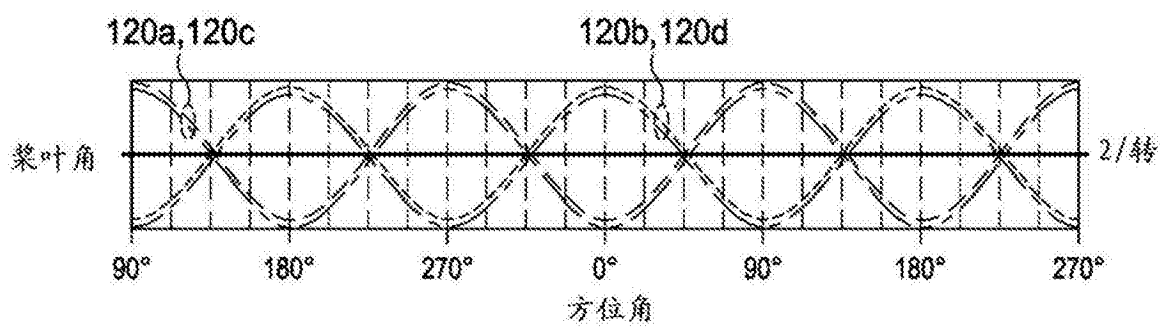


图10D

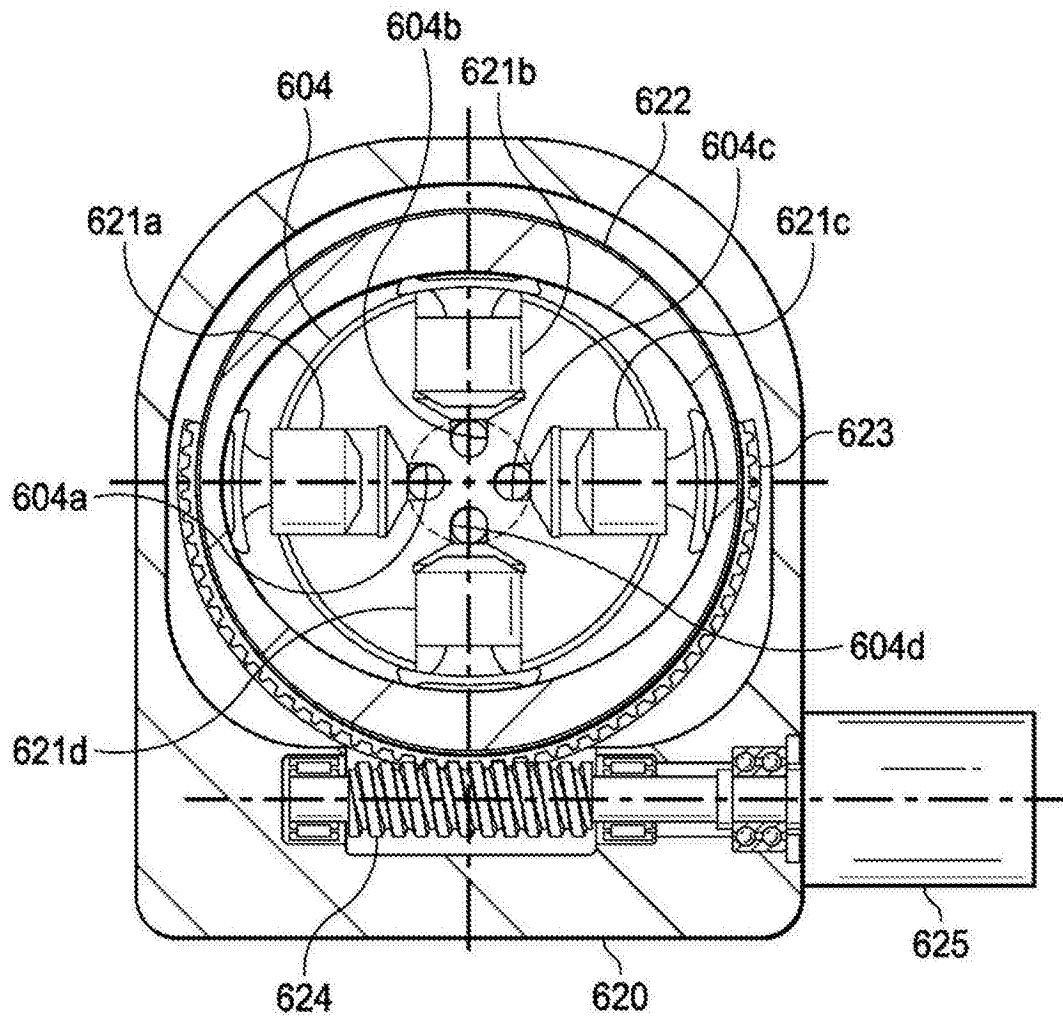


图10E

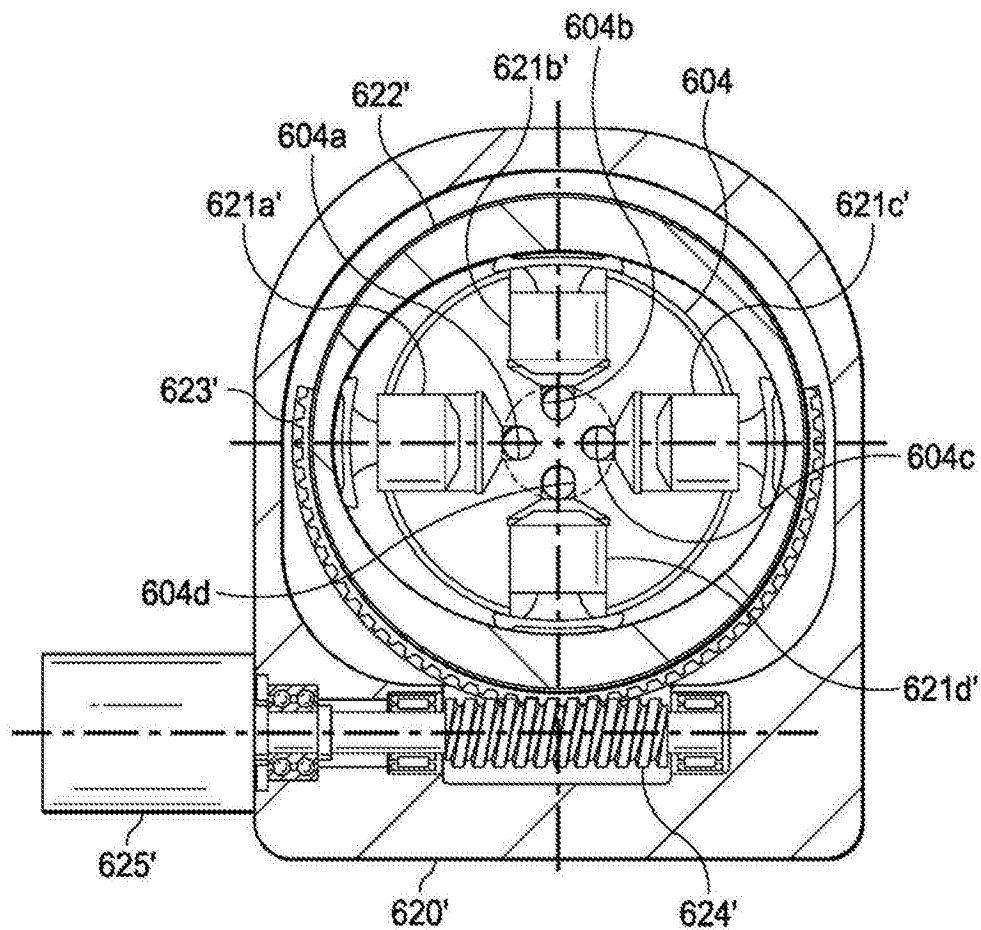


图10F

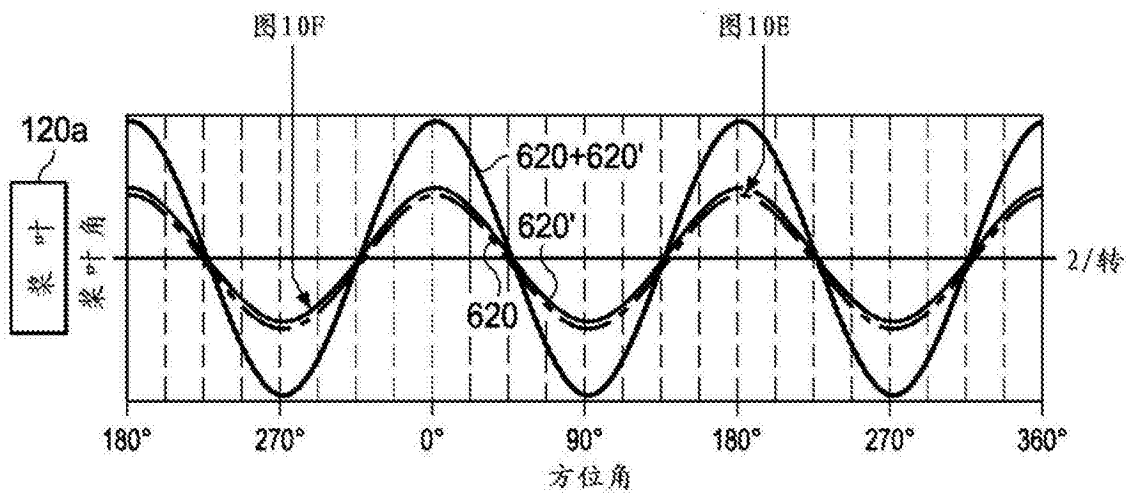


图10G

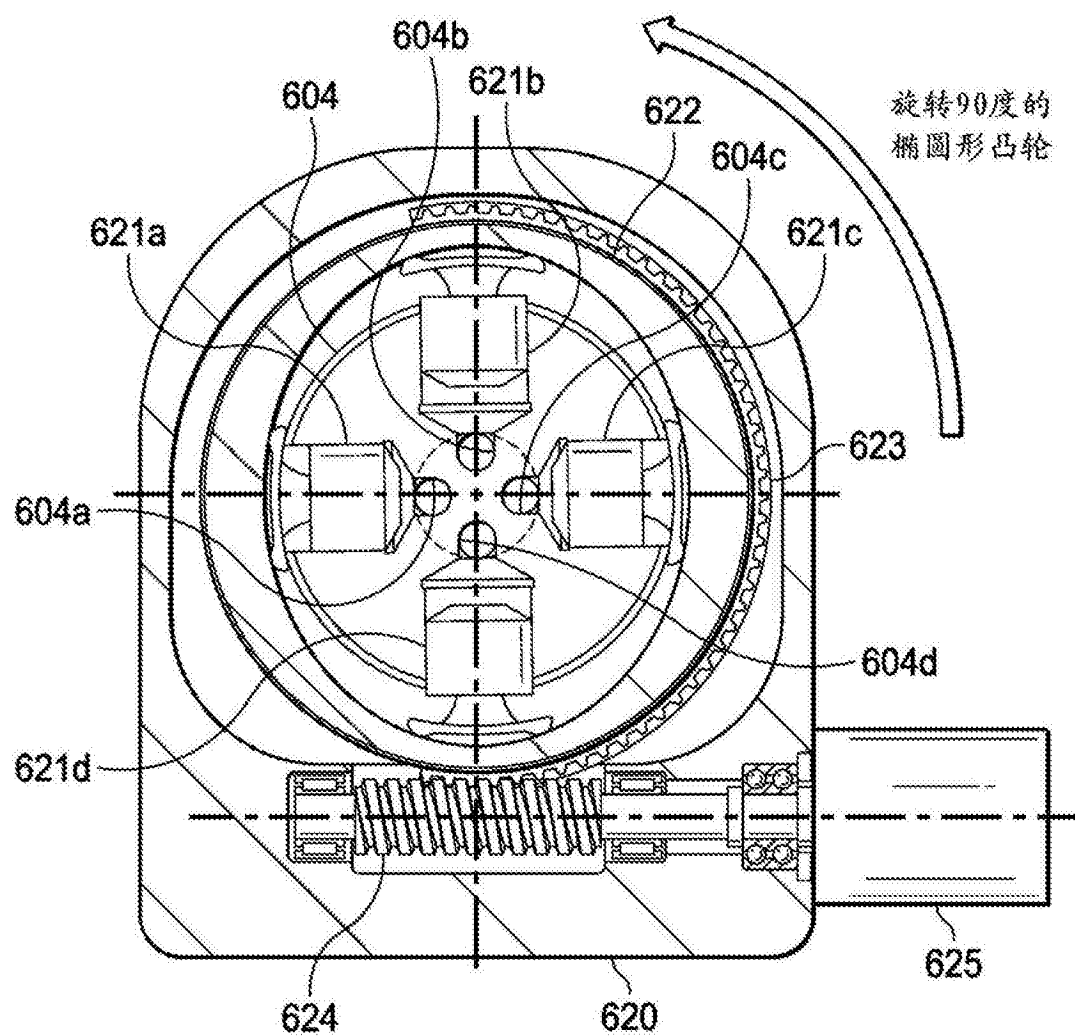


图10H

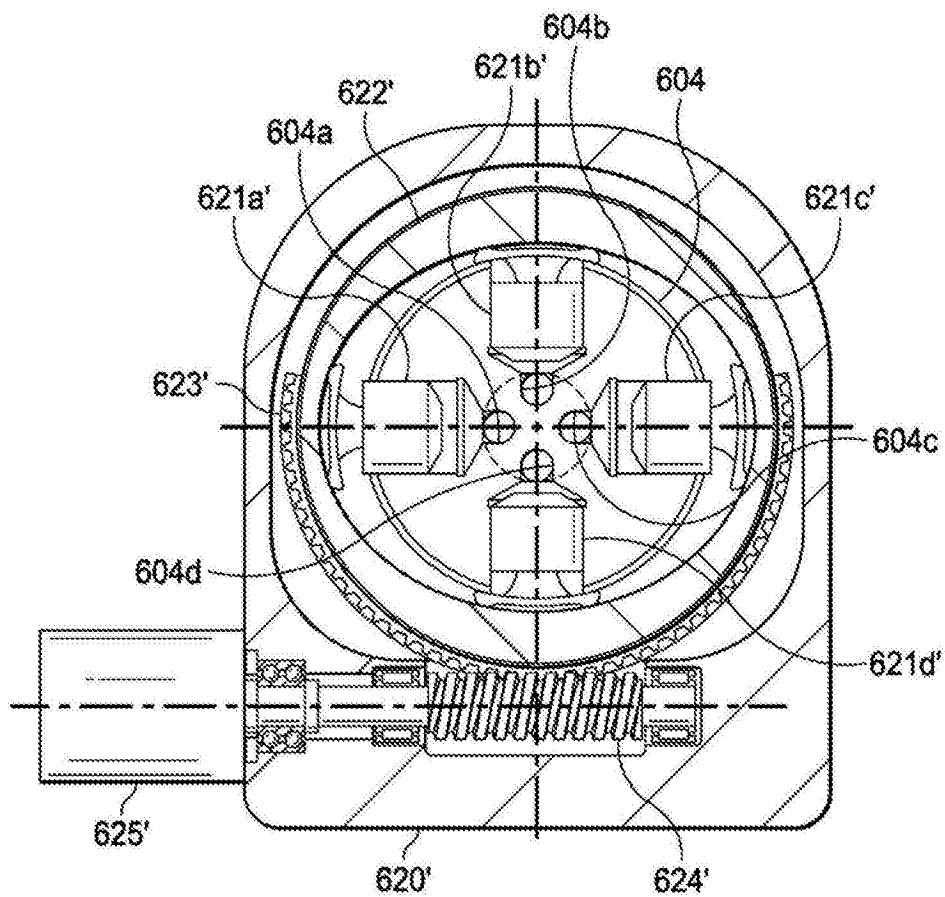


图10I

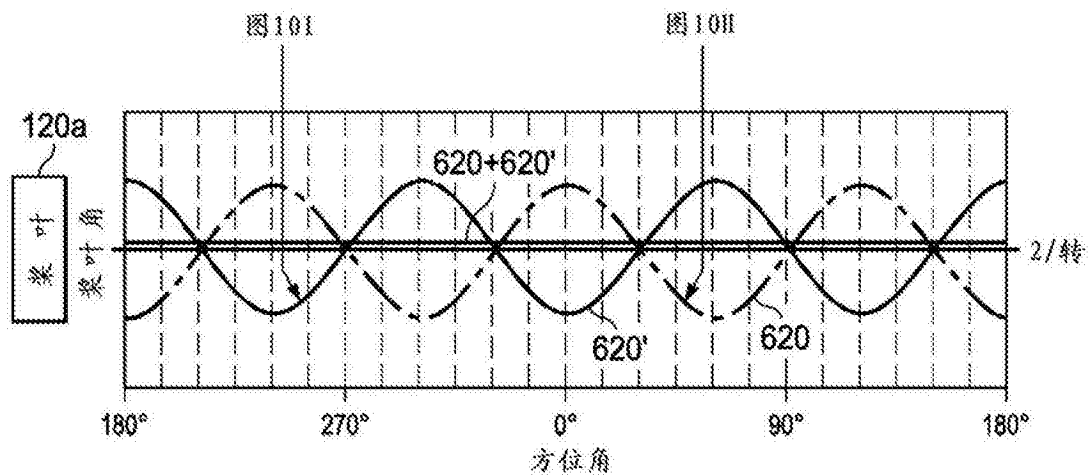


图10J

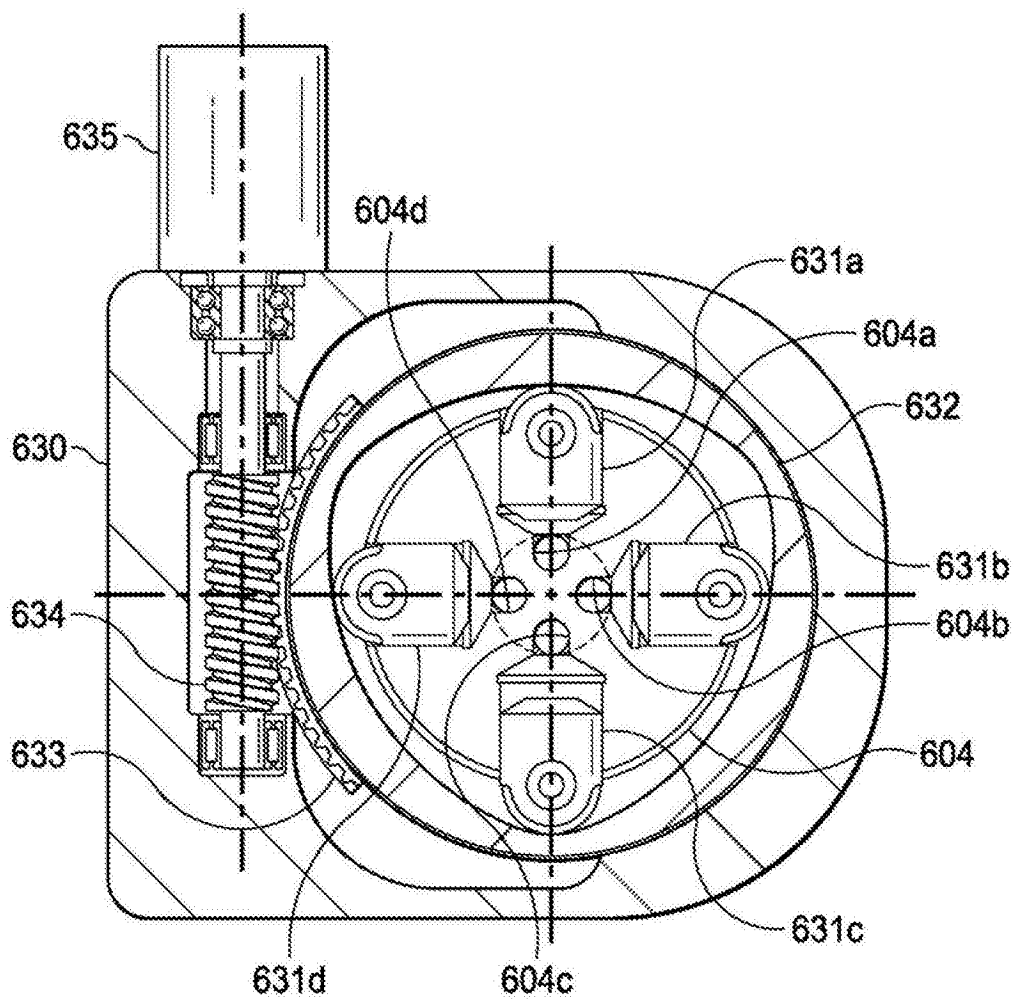


图10K

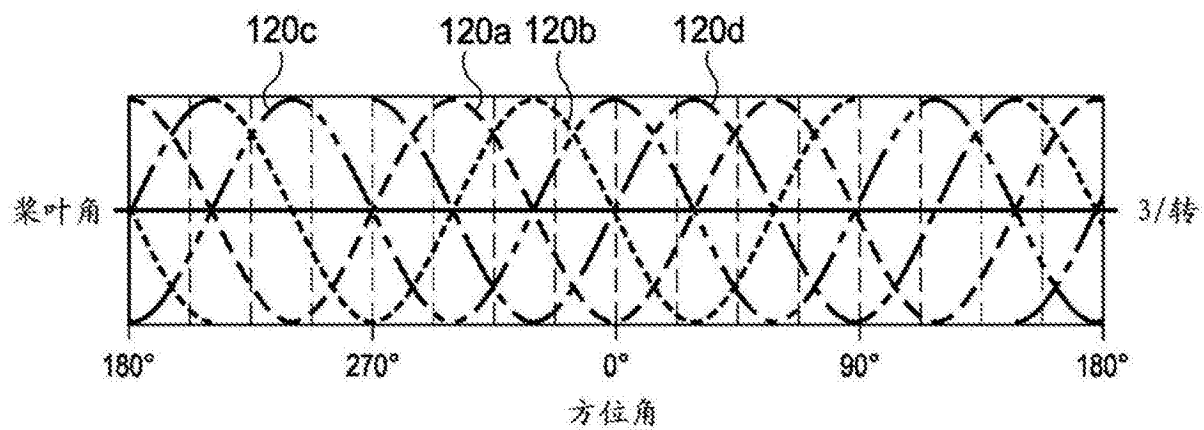


图10L

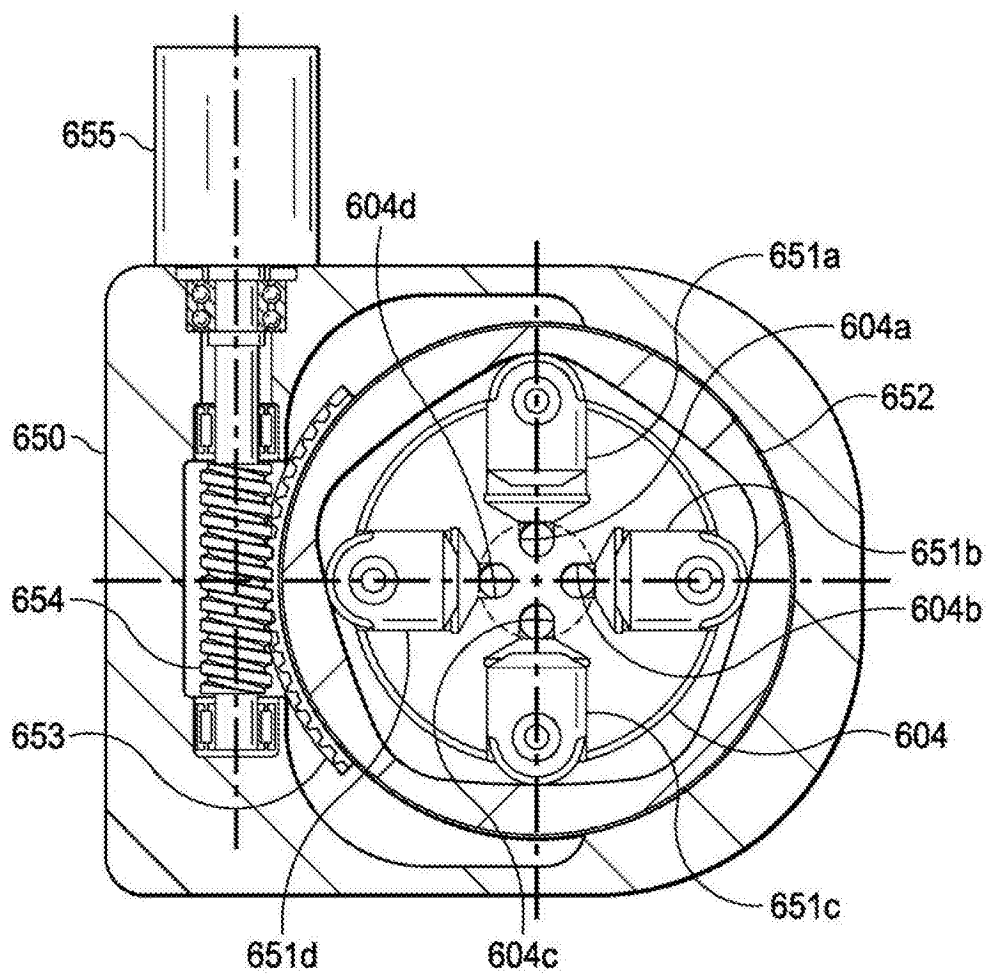


图100

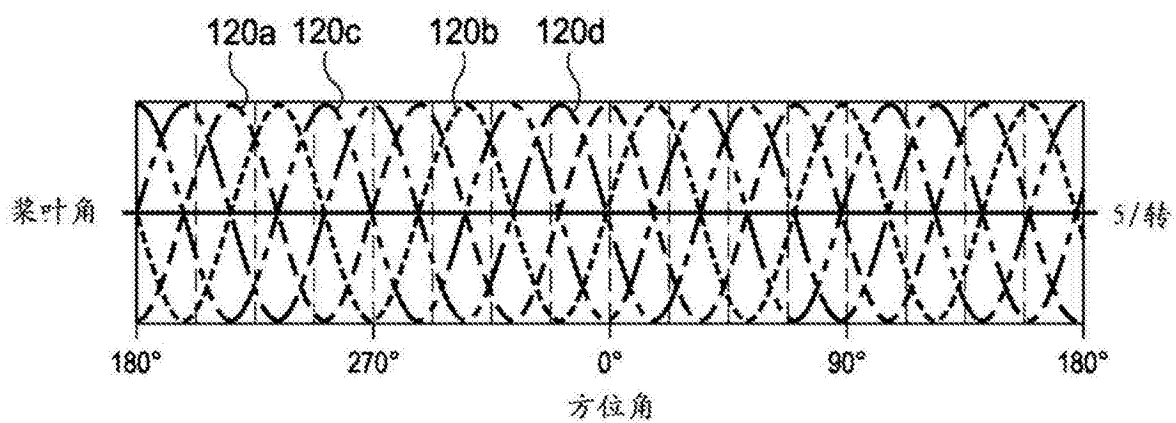


图10P

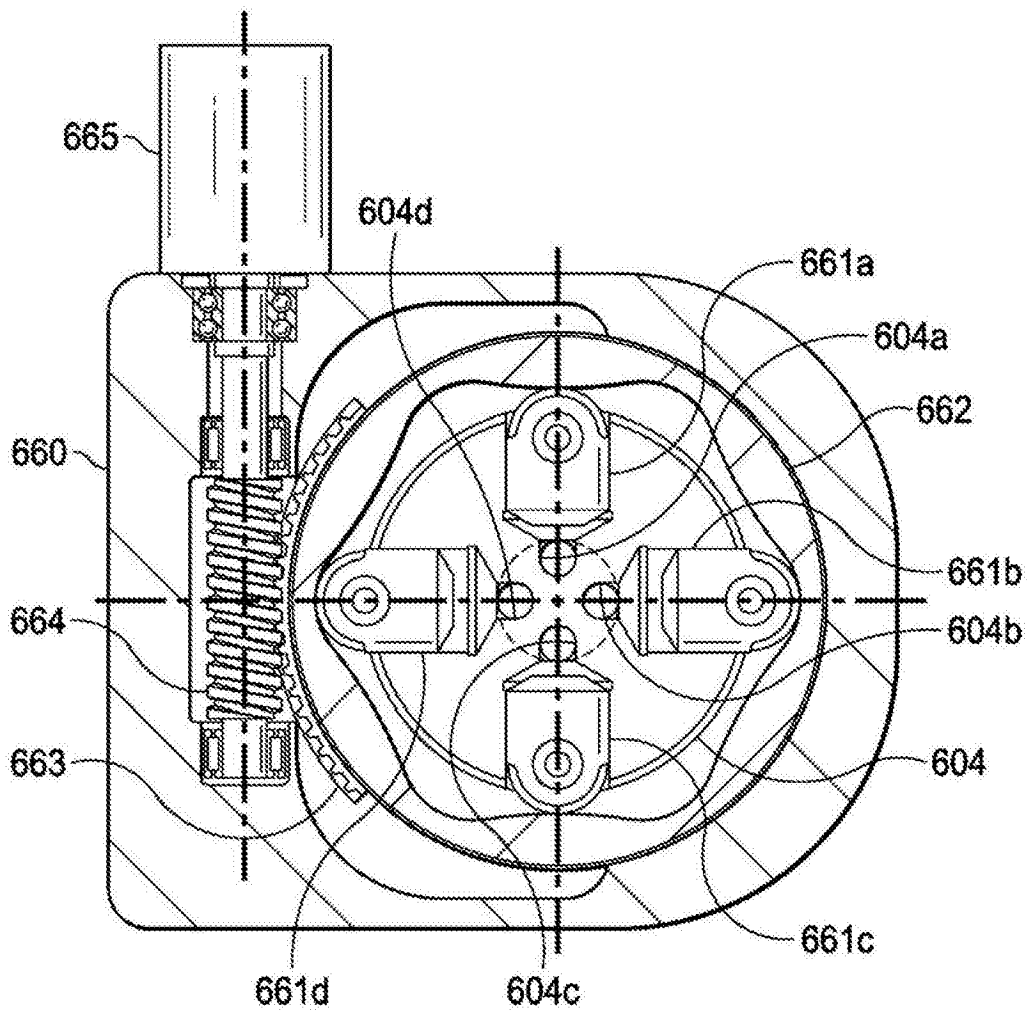


图10Q

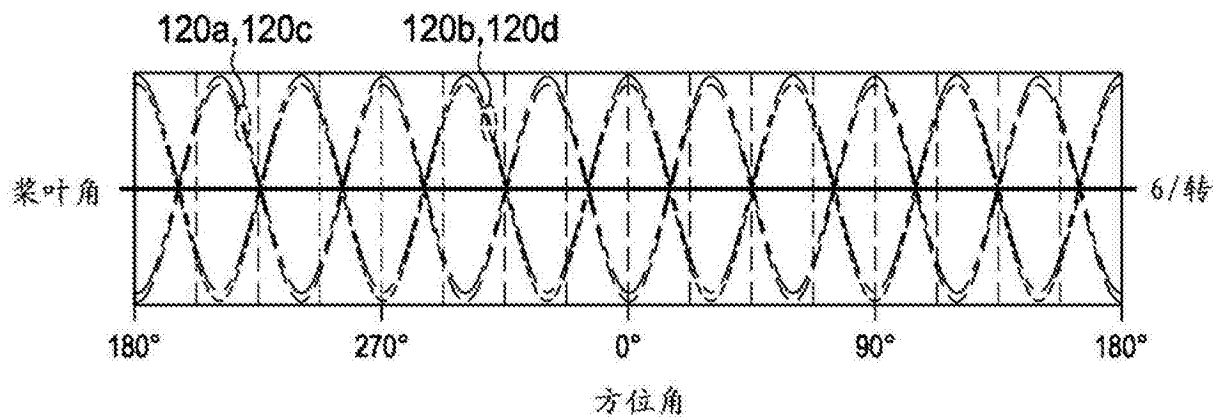


图10R

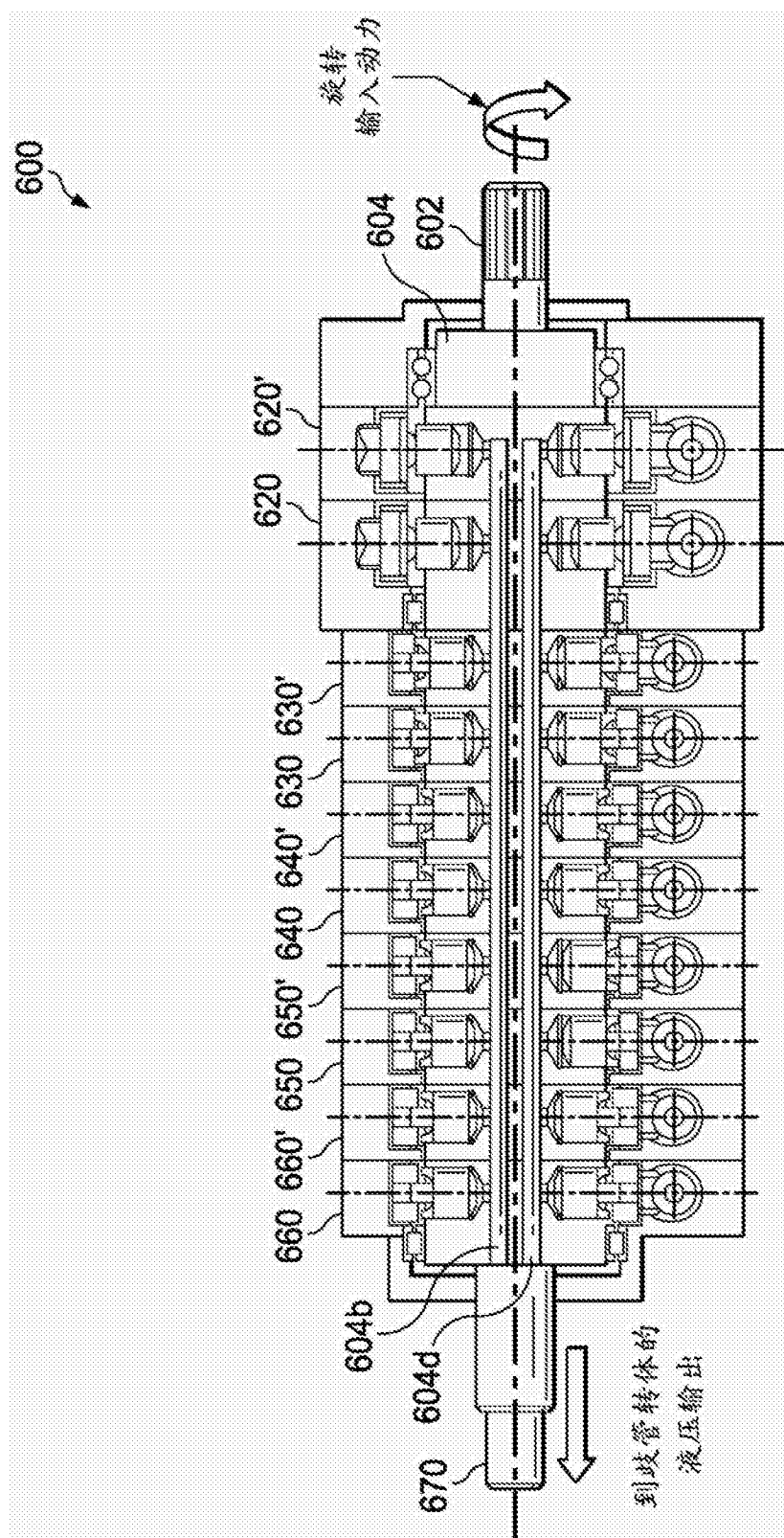


图 10S

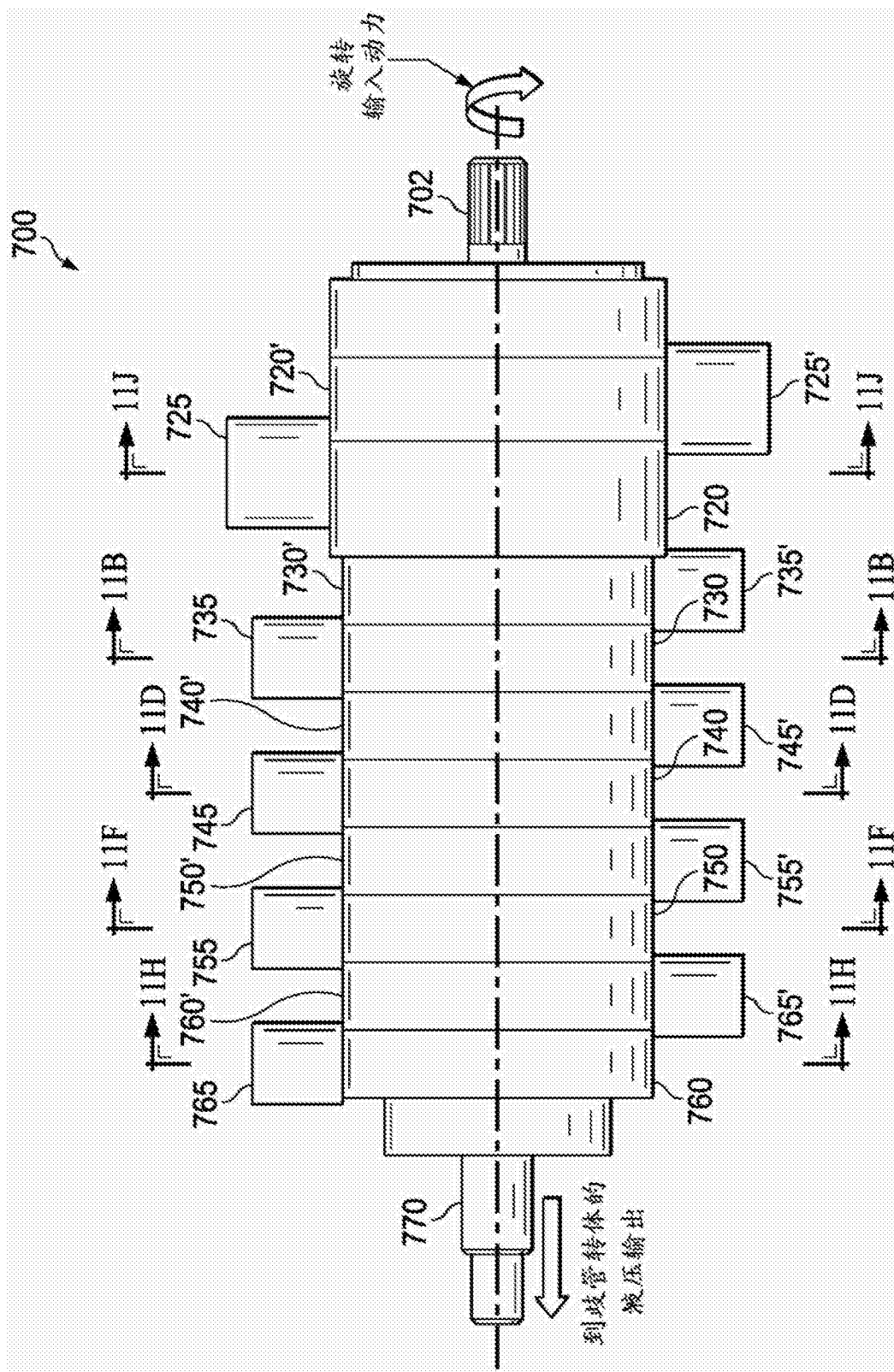


图11A

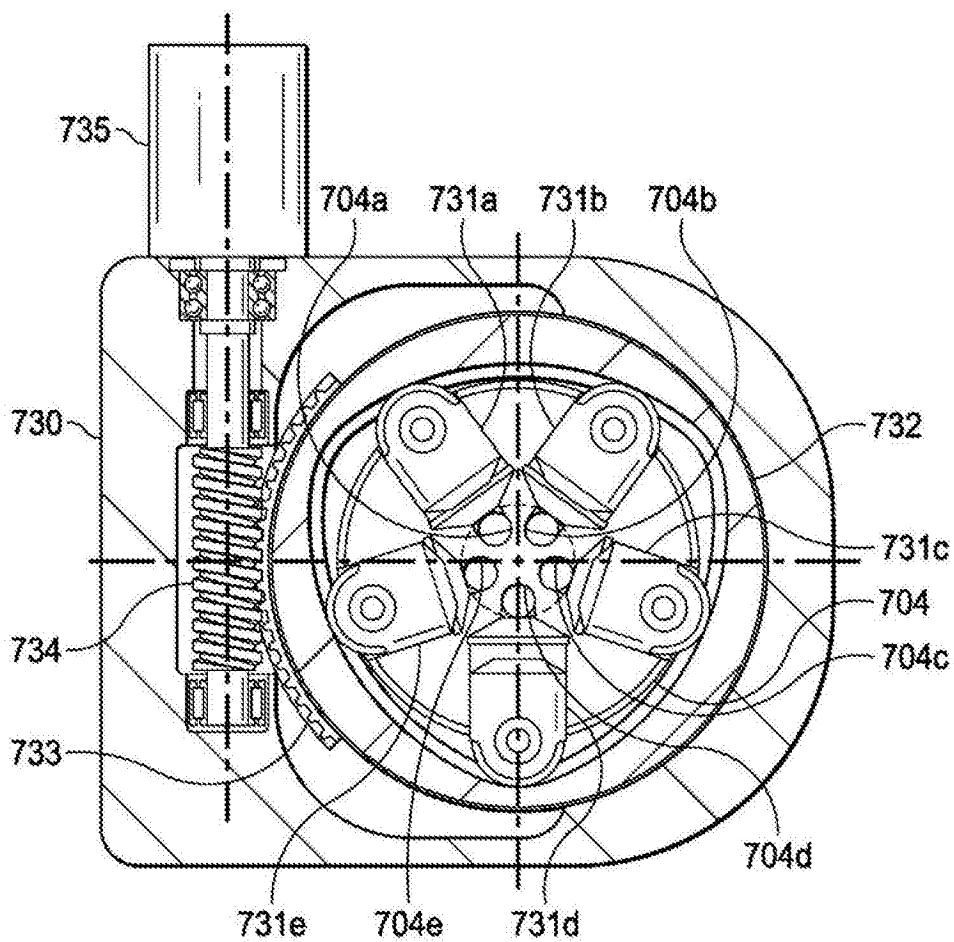


图11B

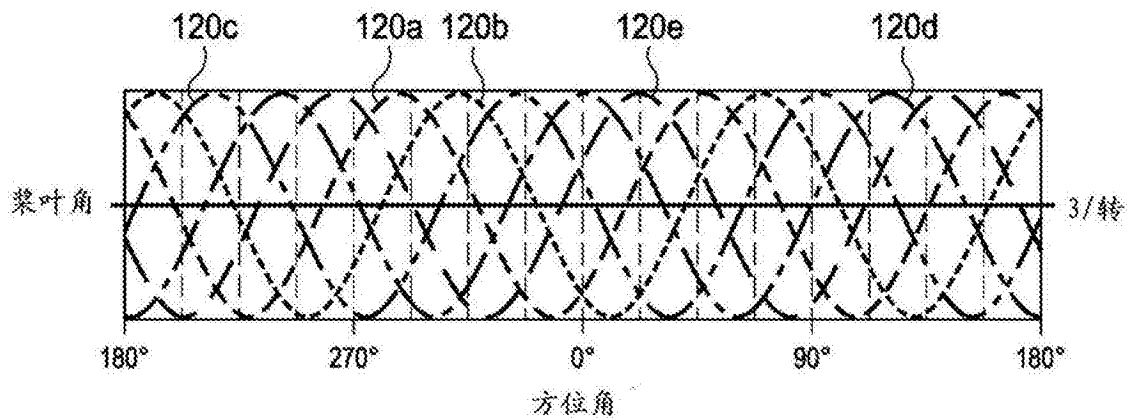


图11C

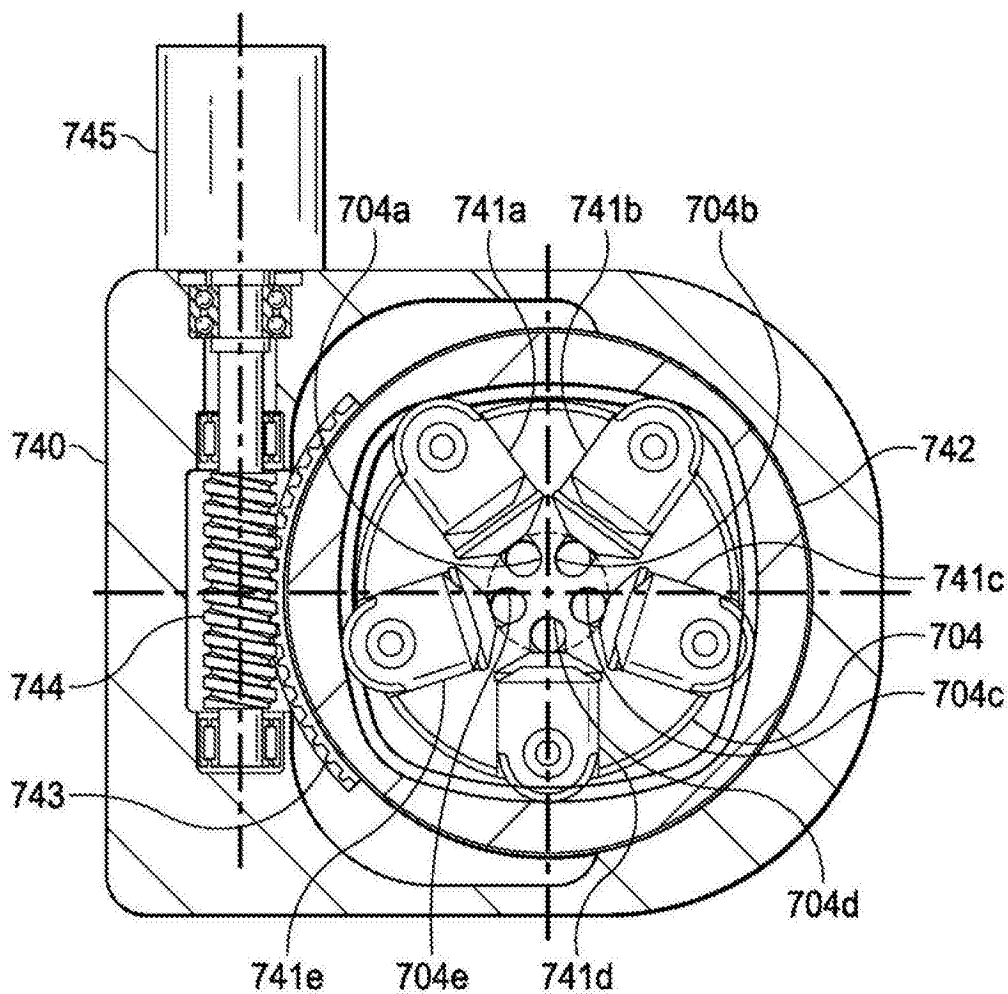


图11D

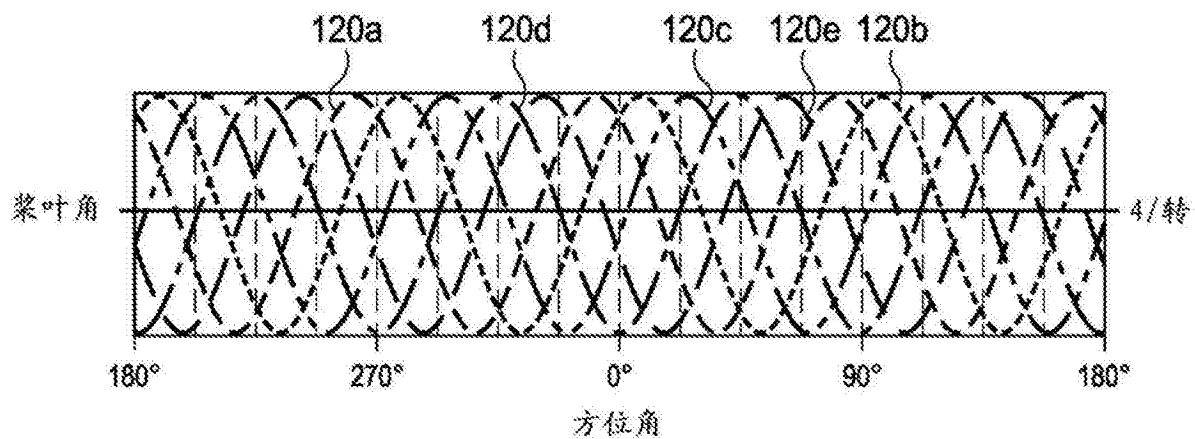


图11E

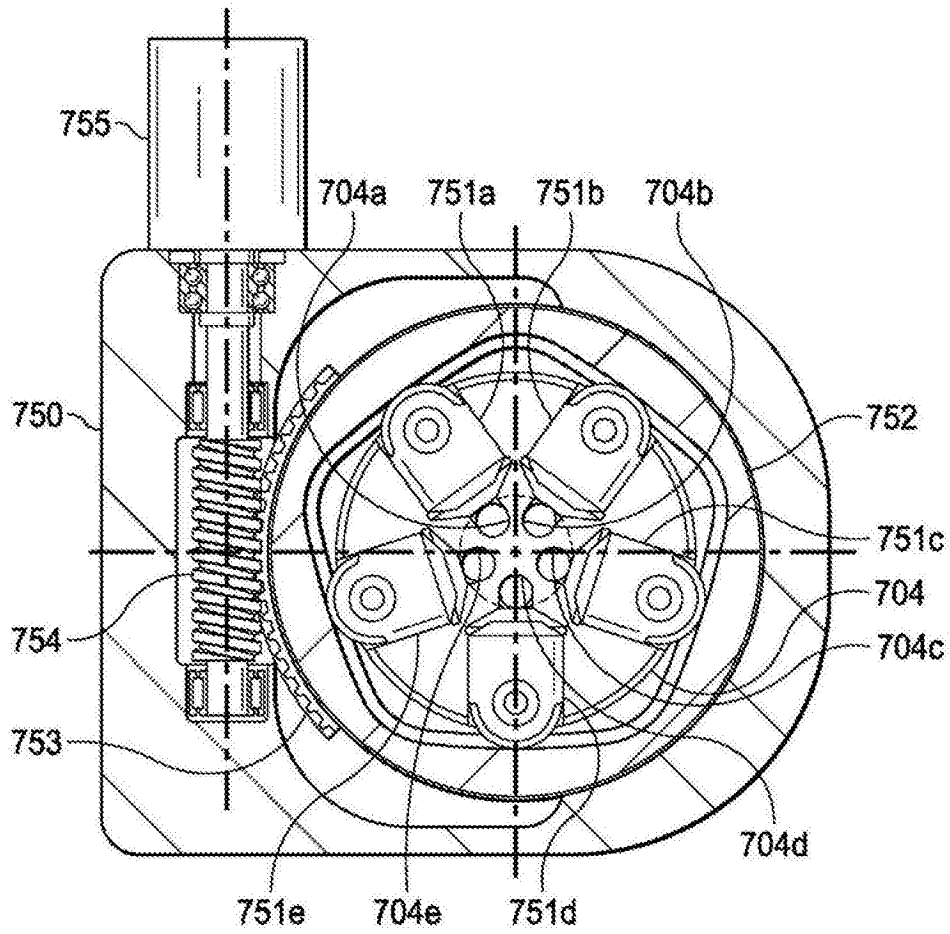


图11F

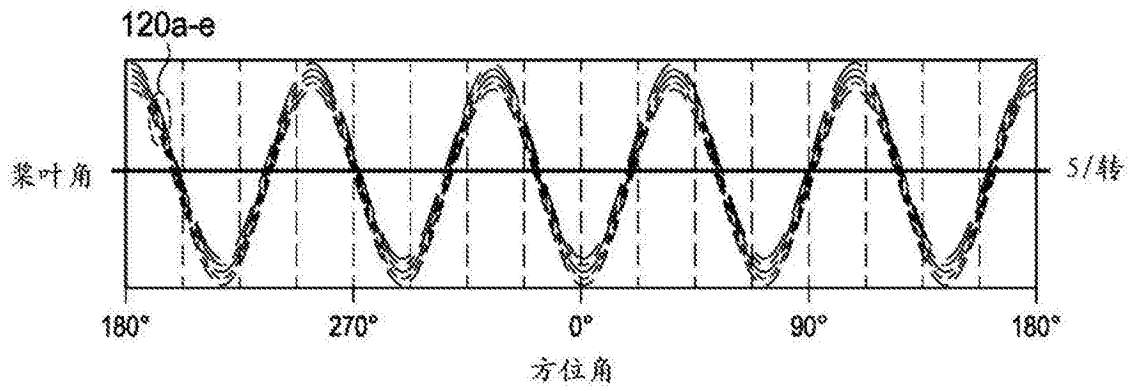


图11G

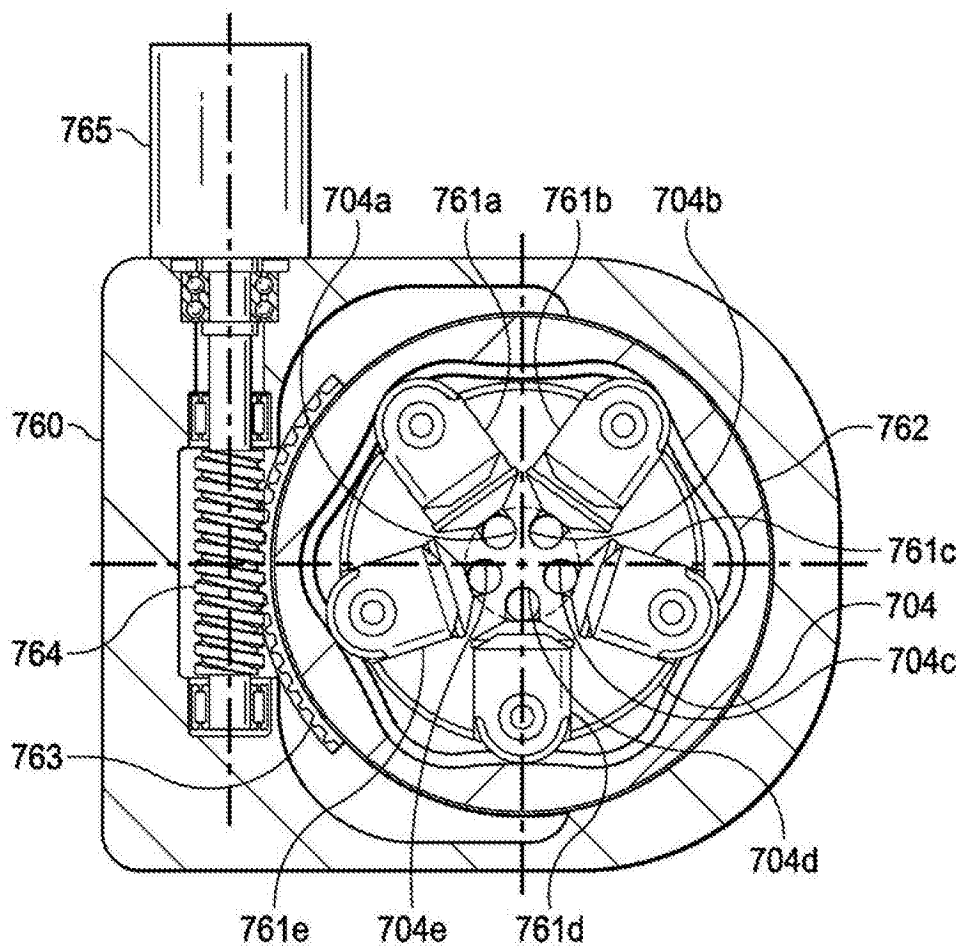


图11H

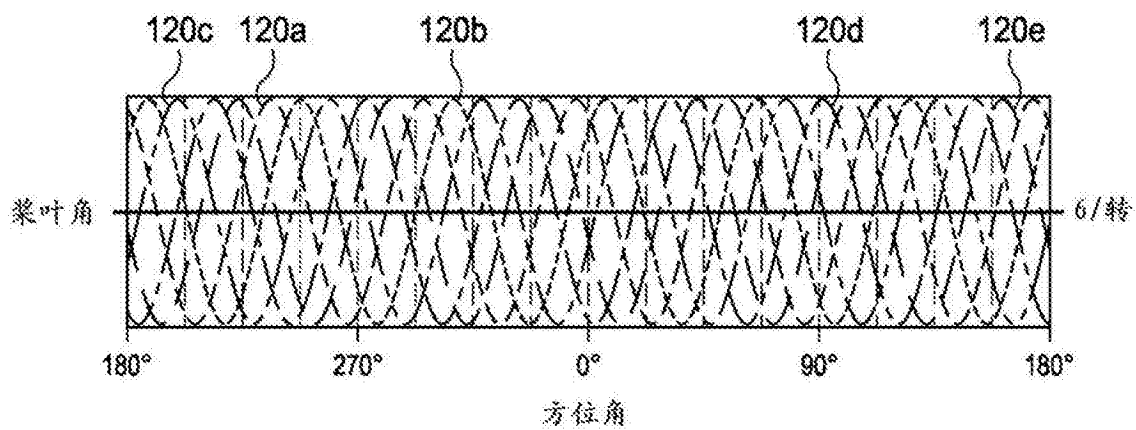


图11I

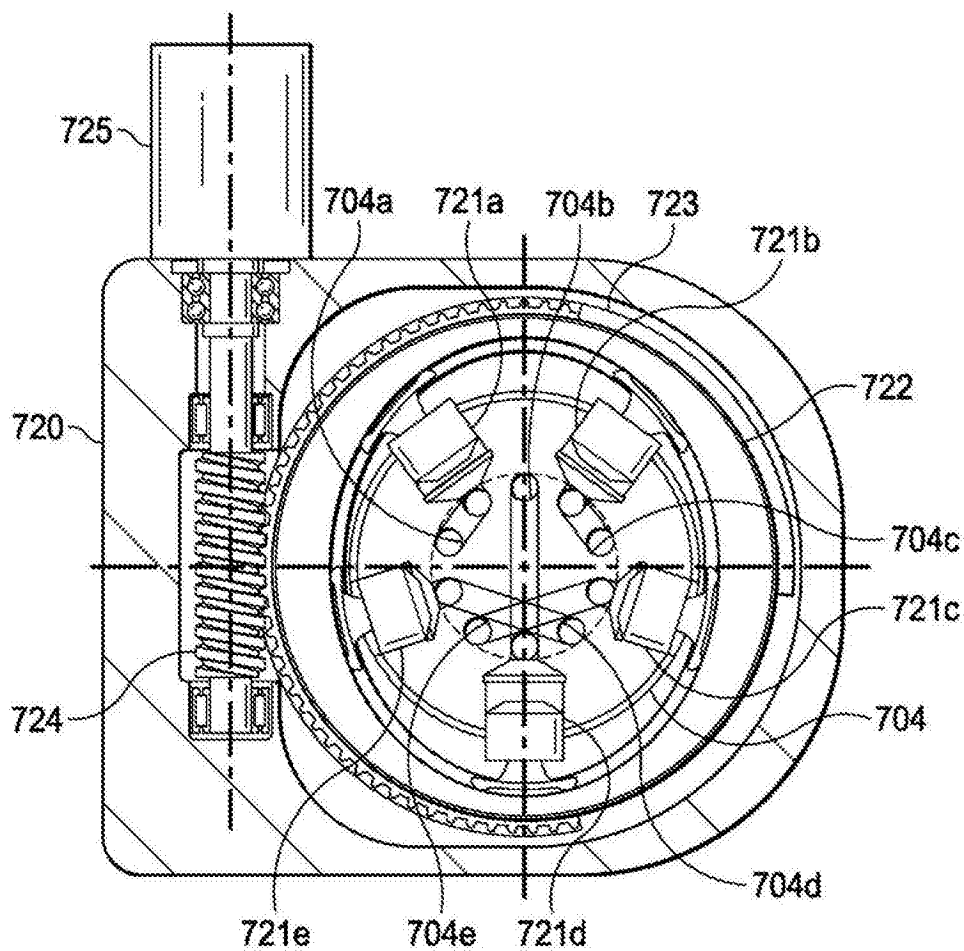


图11J

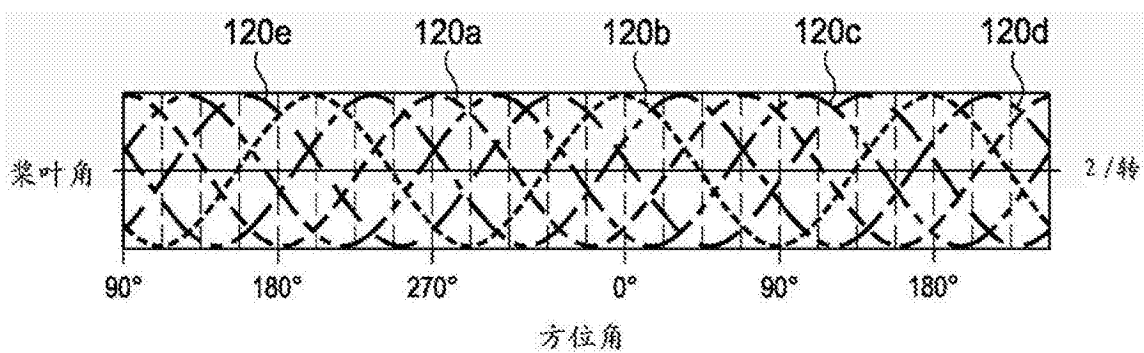


图11K

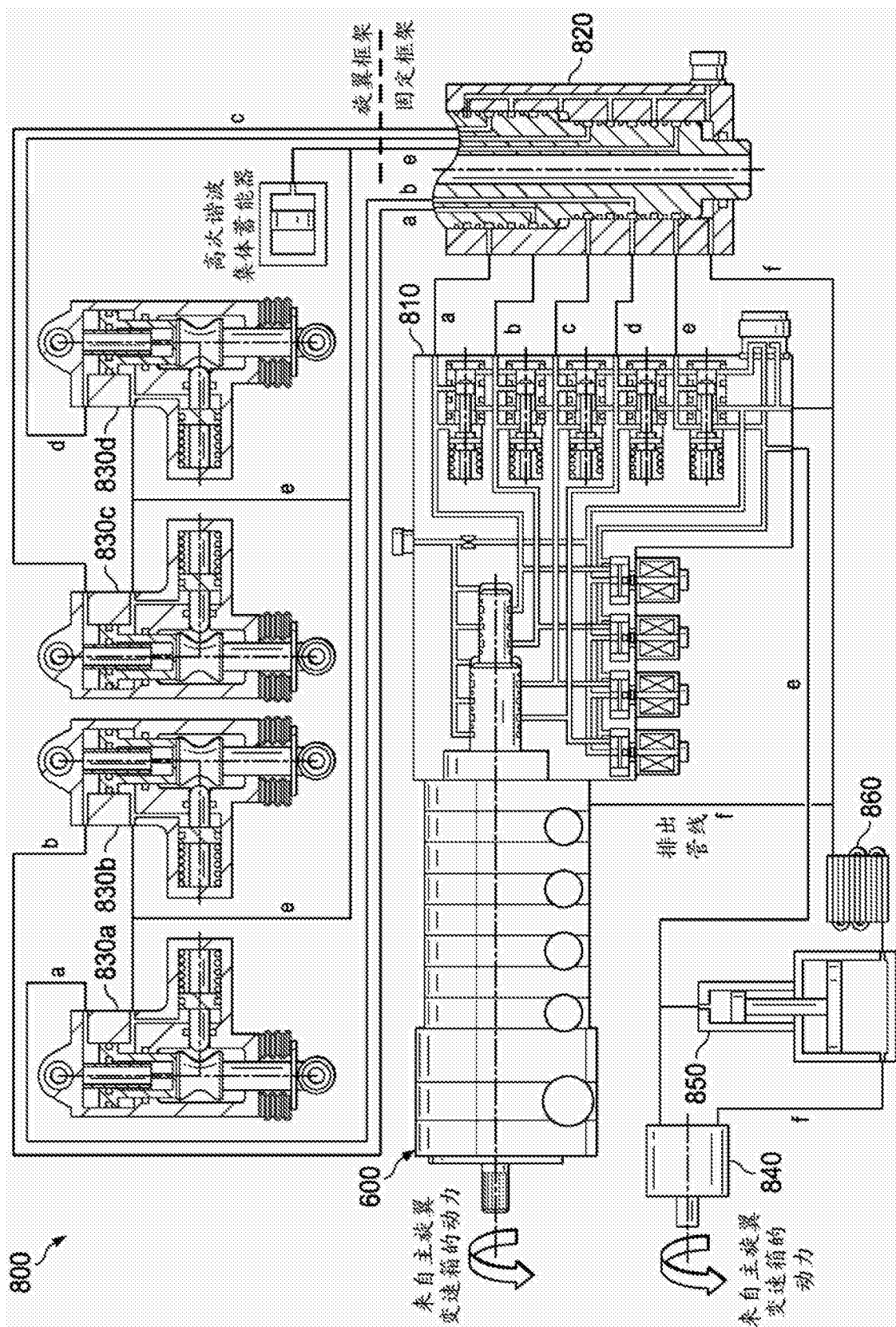


图12A

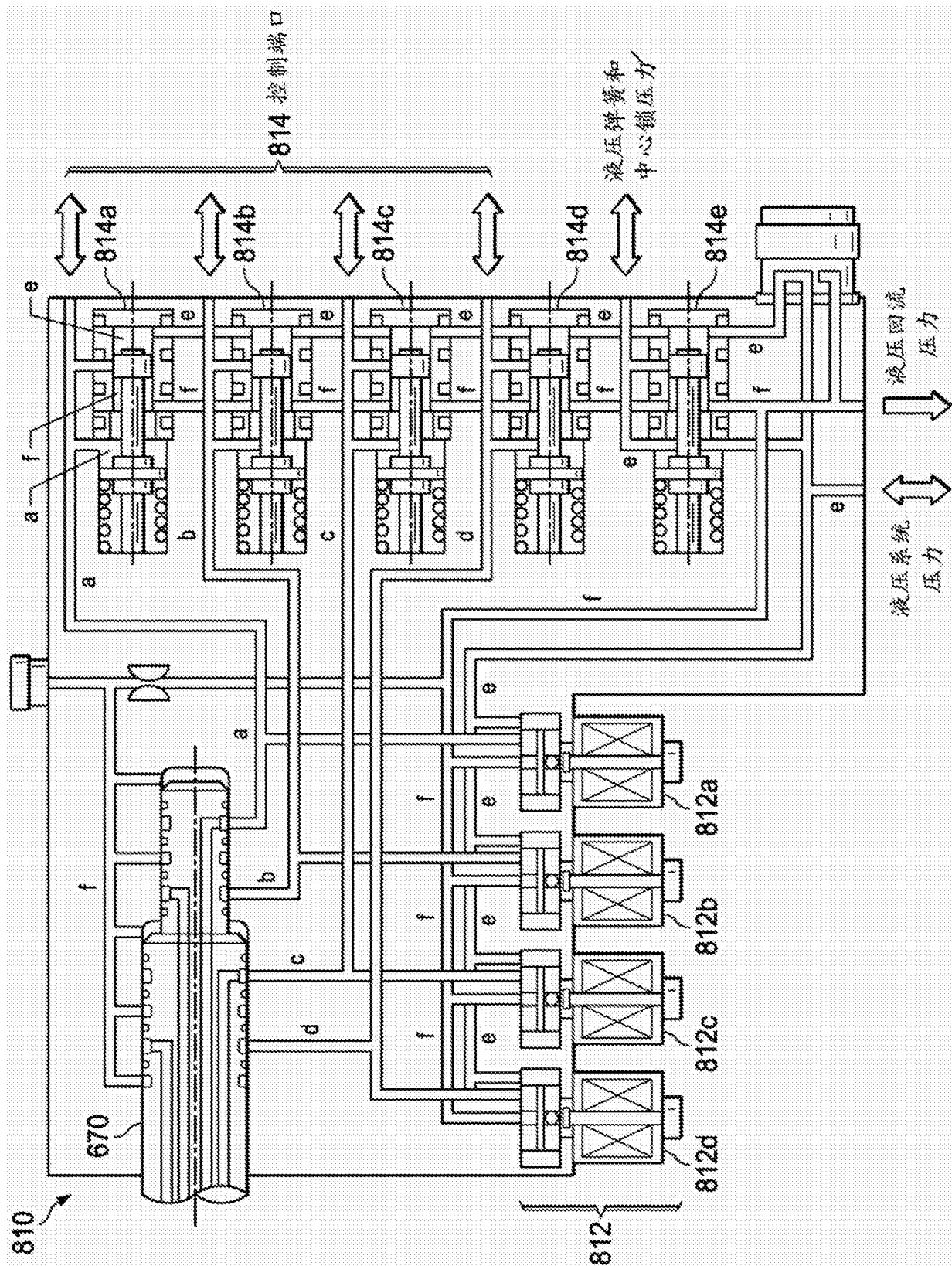


图12B

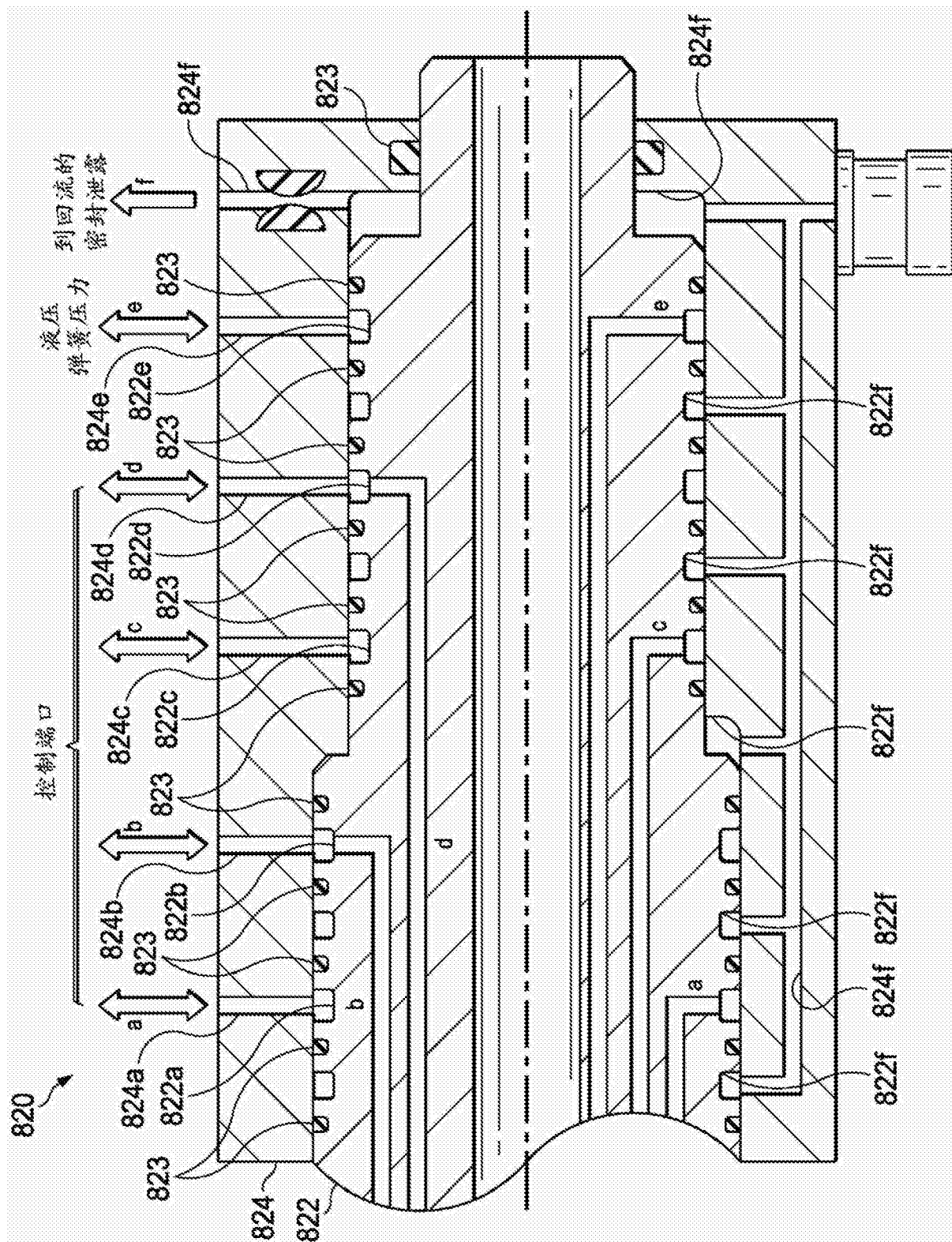


图12C

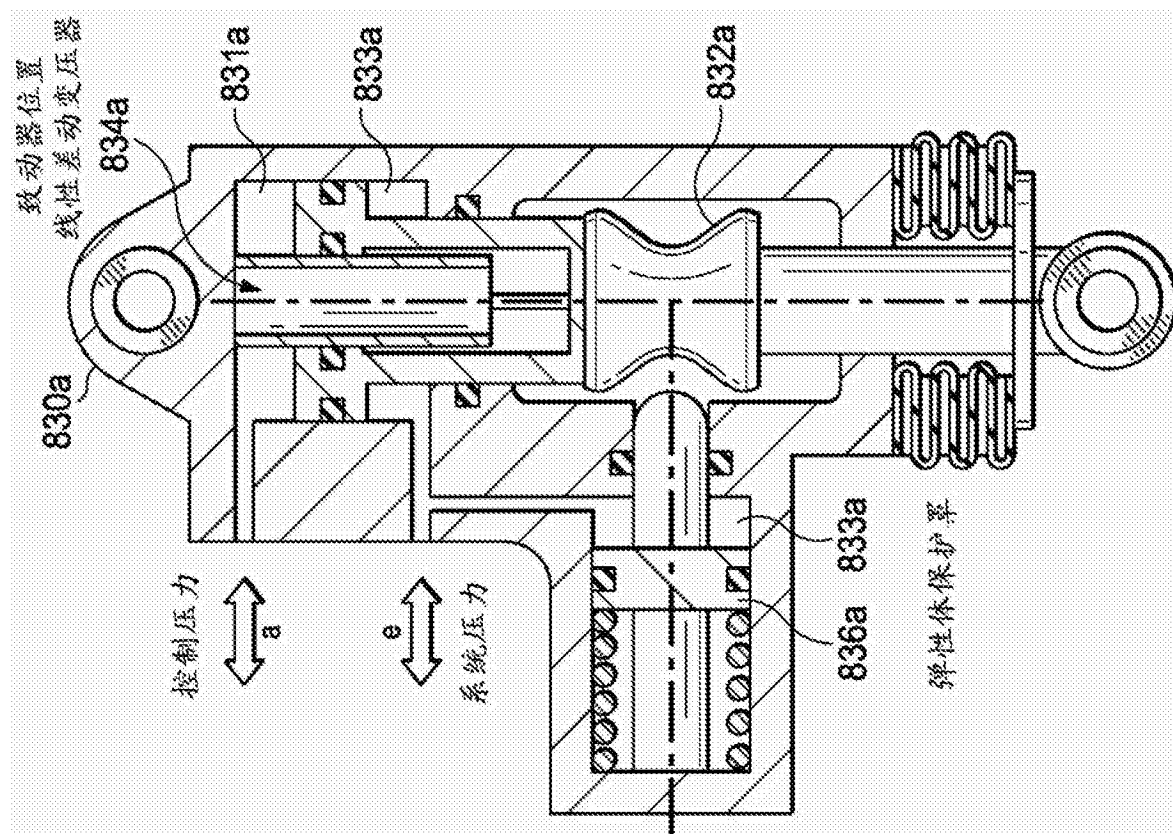


图12D

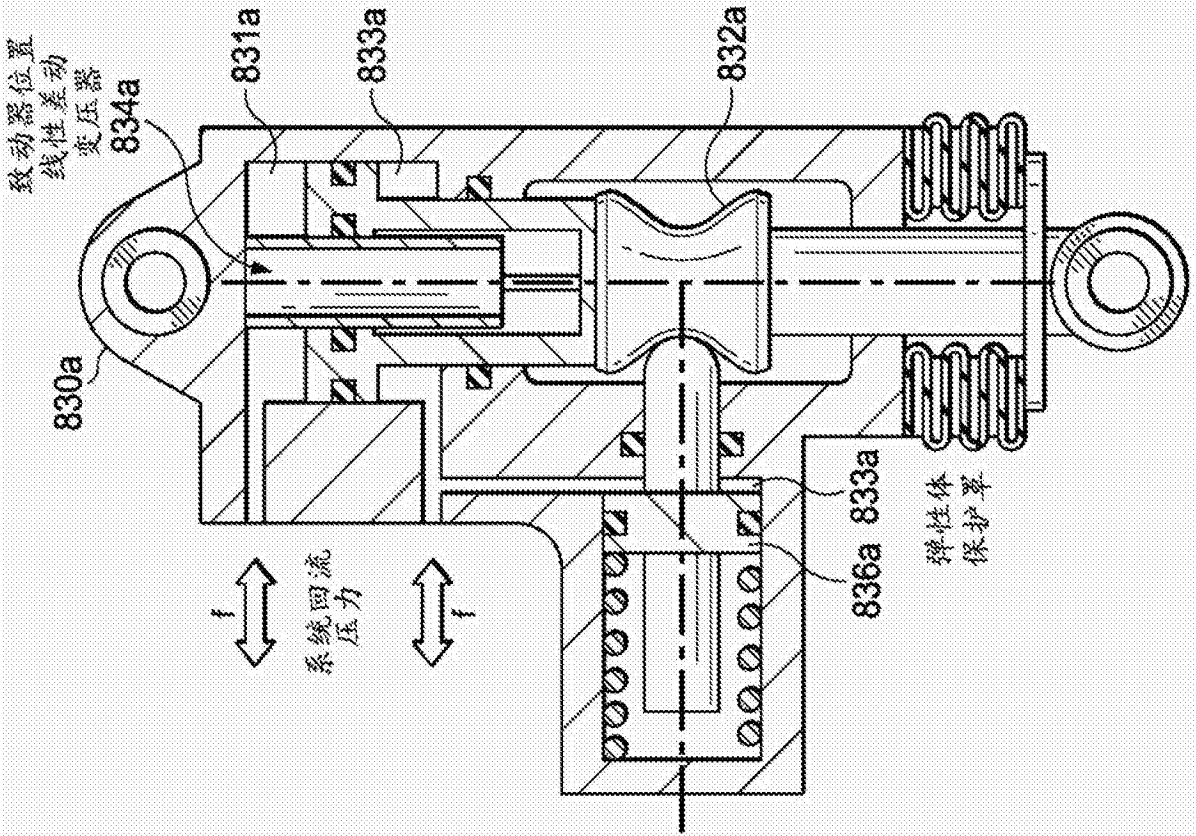


图12E

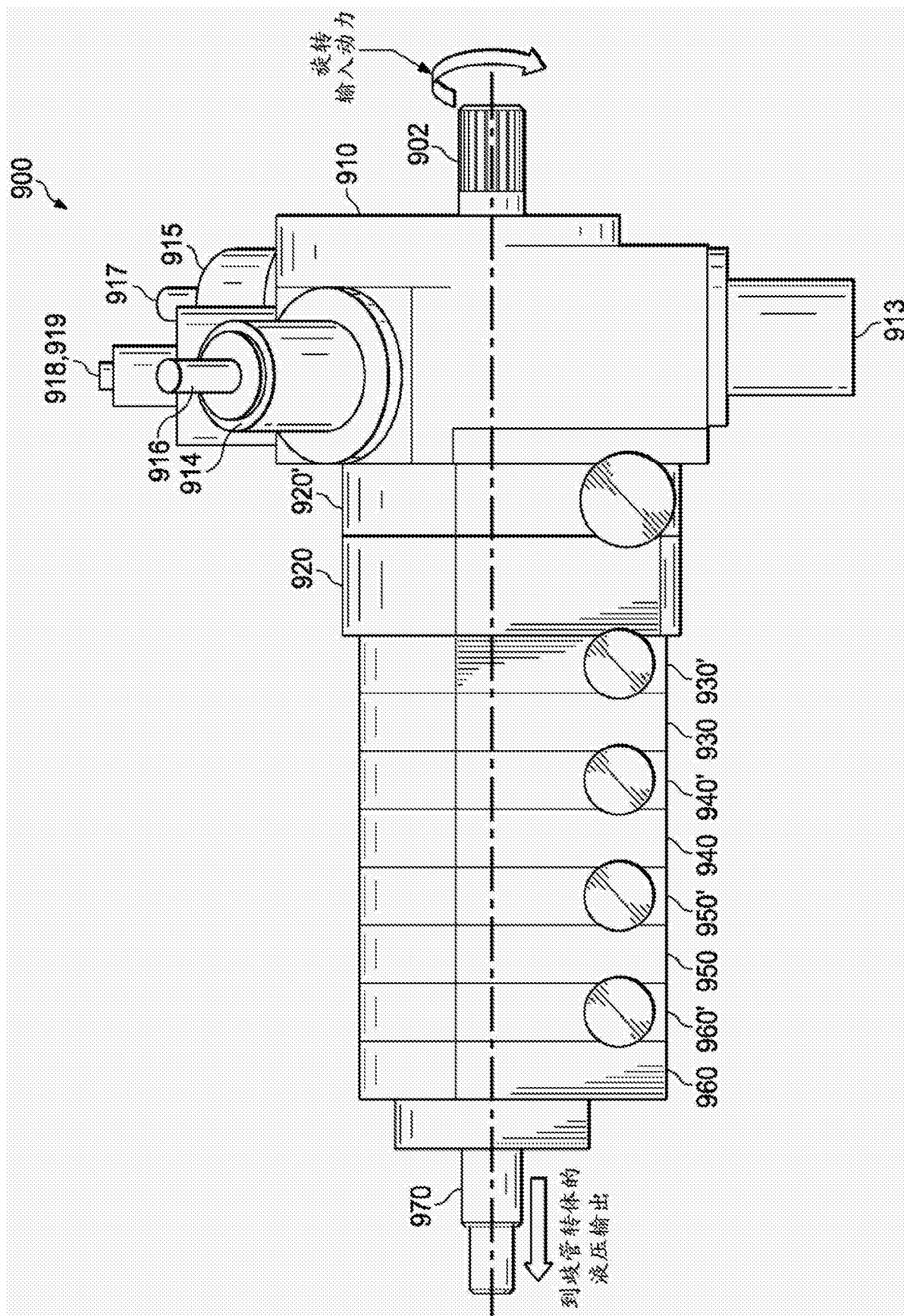


图13A

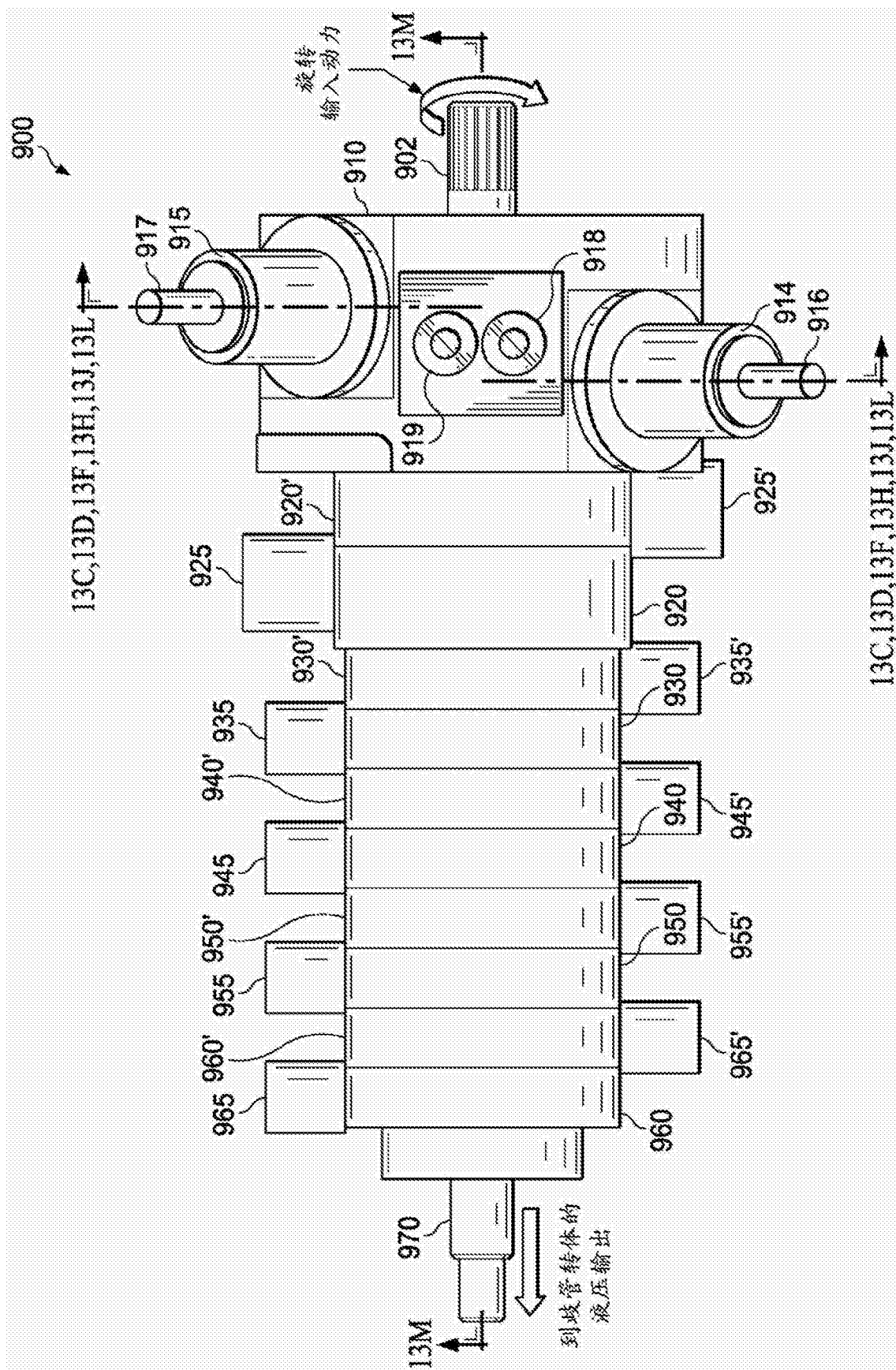


图13B

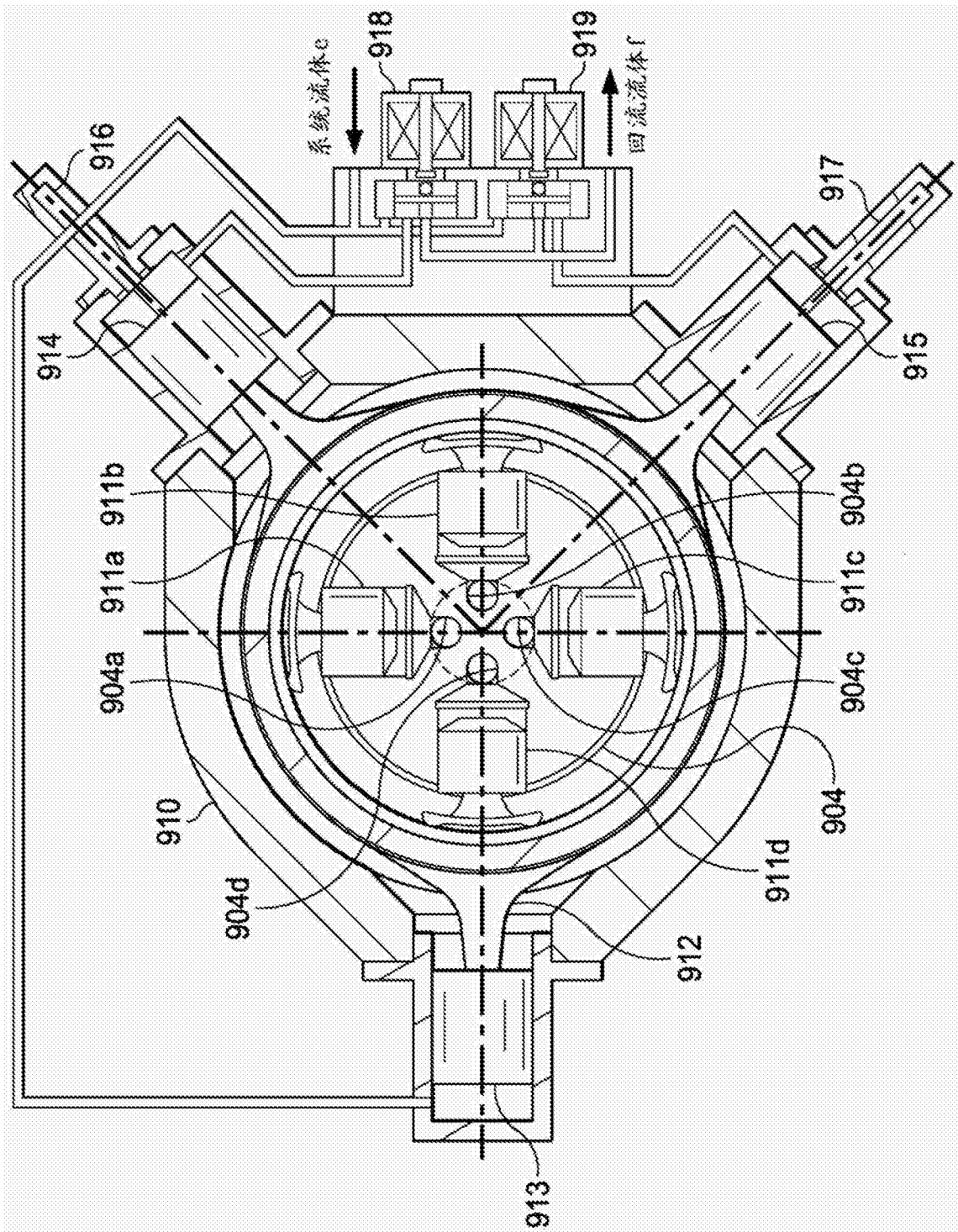


图13C

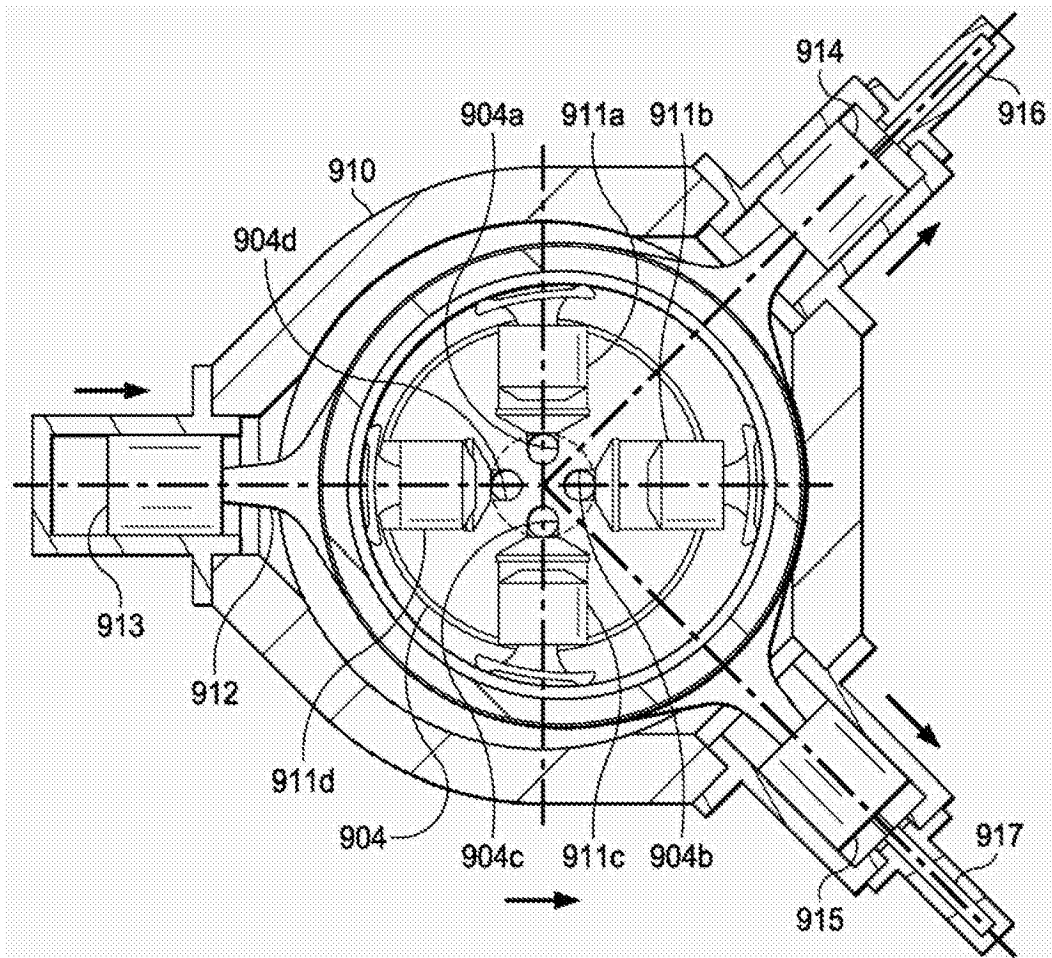


图13D

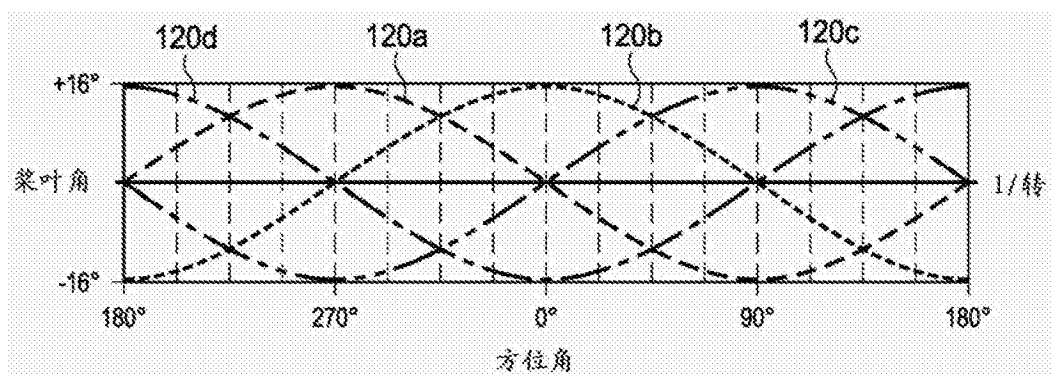


图13E

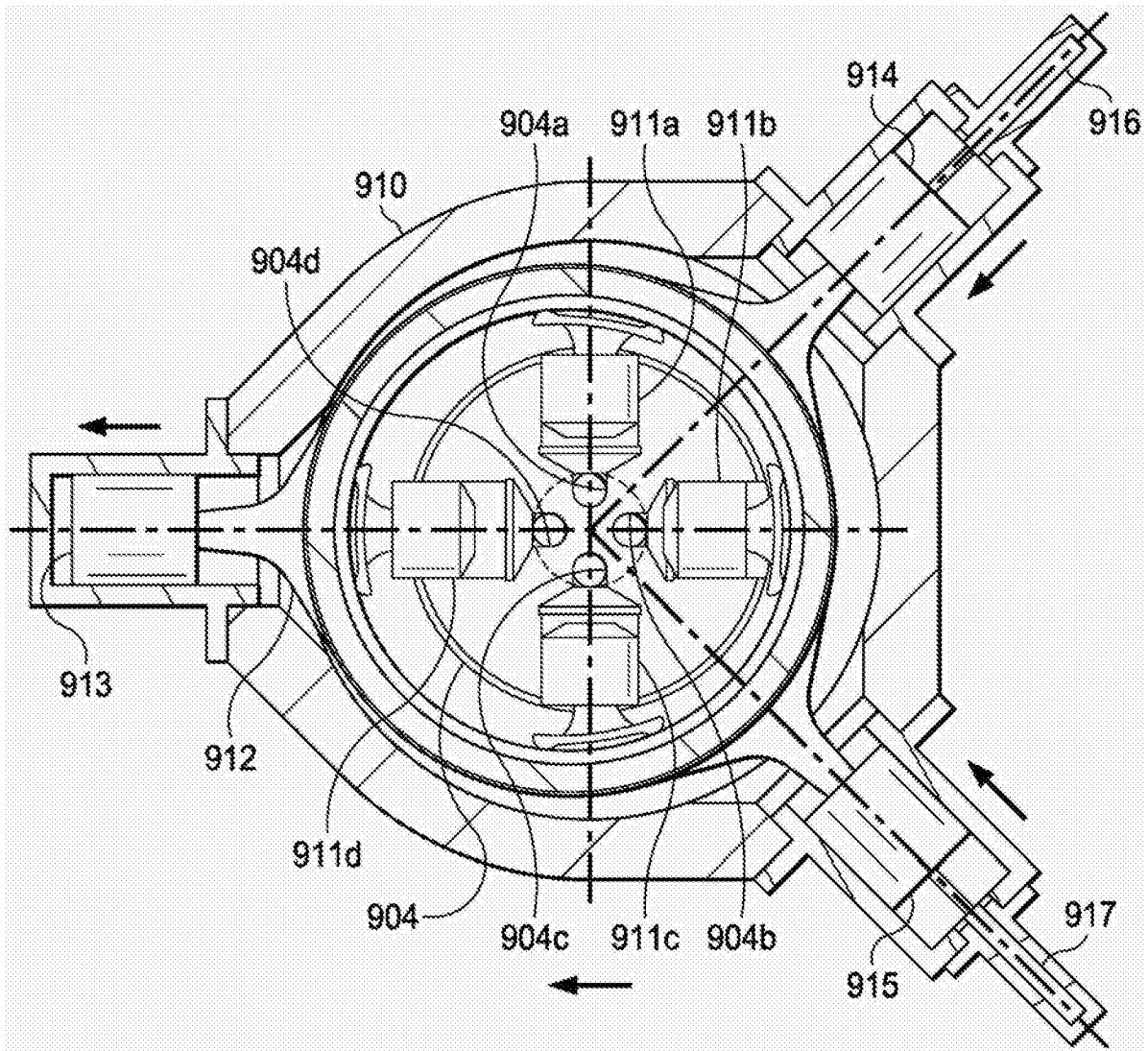


图13F

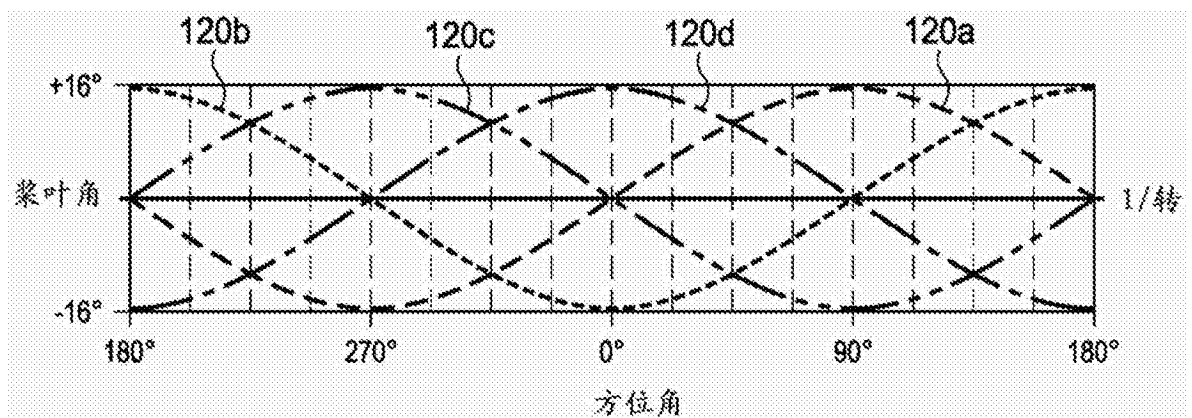


图13G

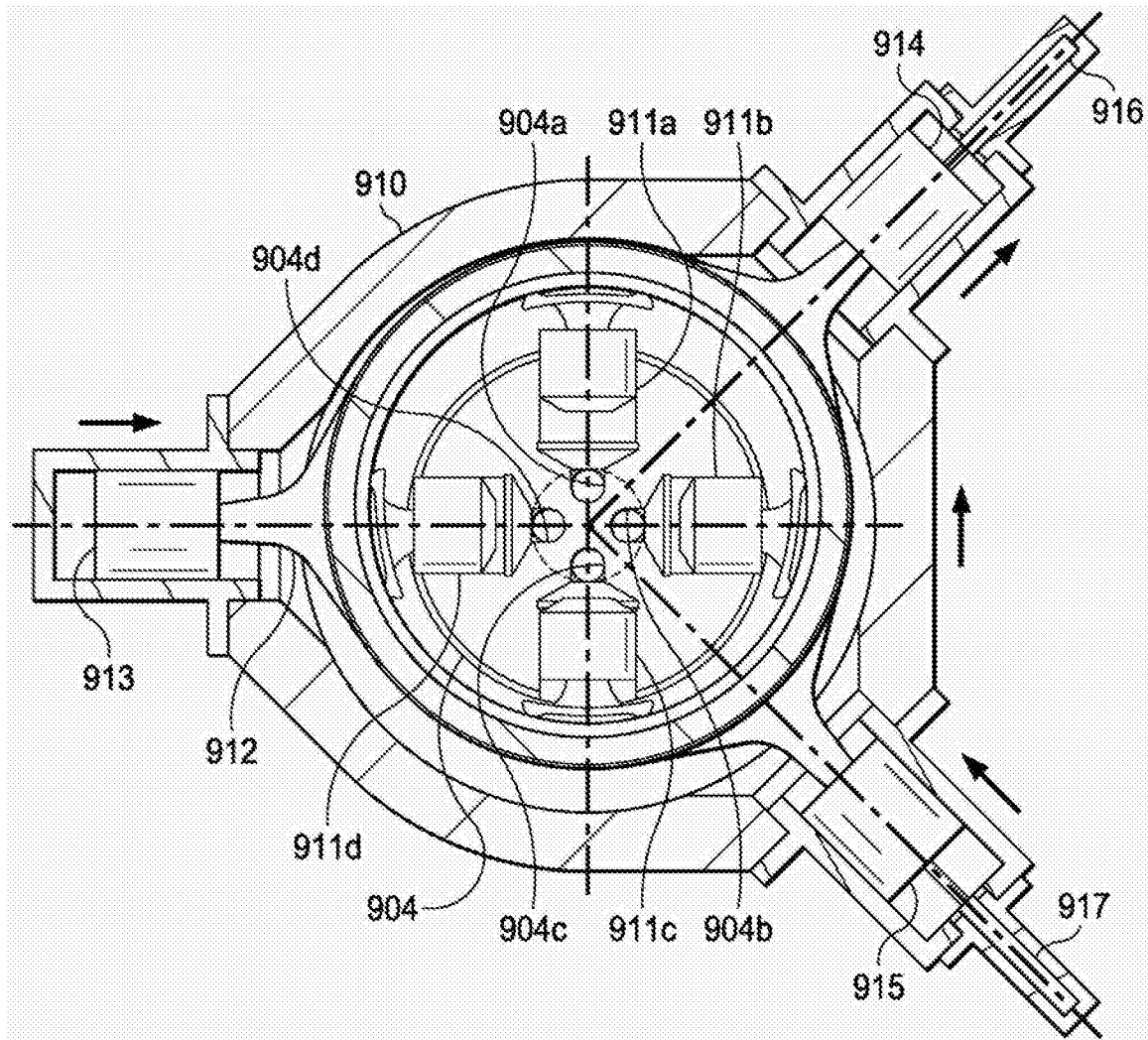


图13H

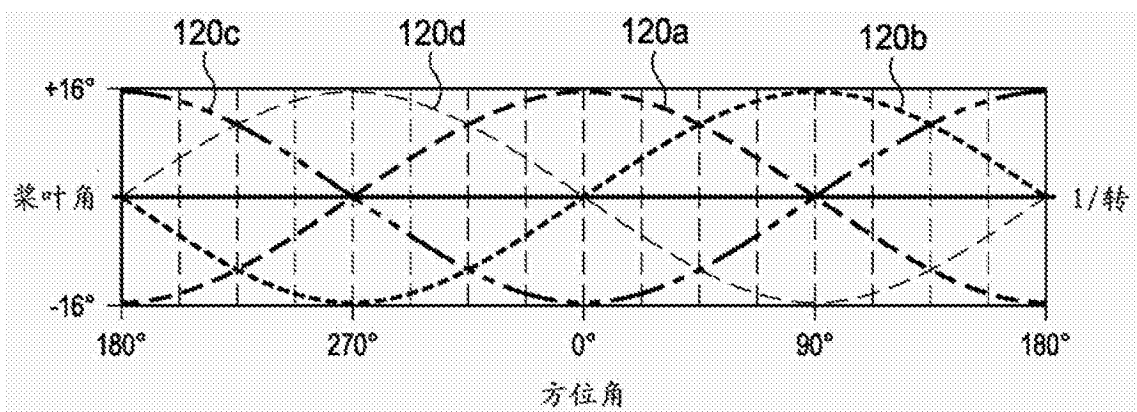


图13I

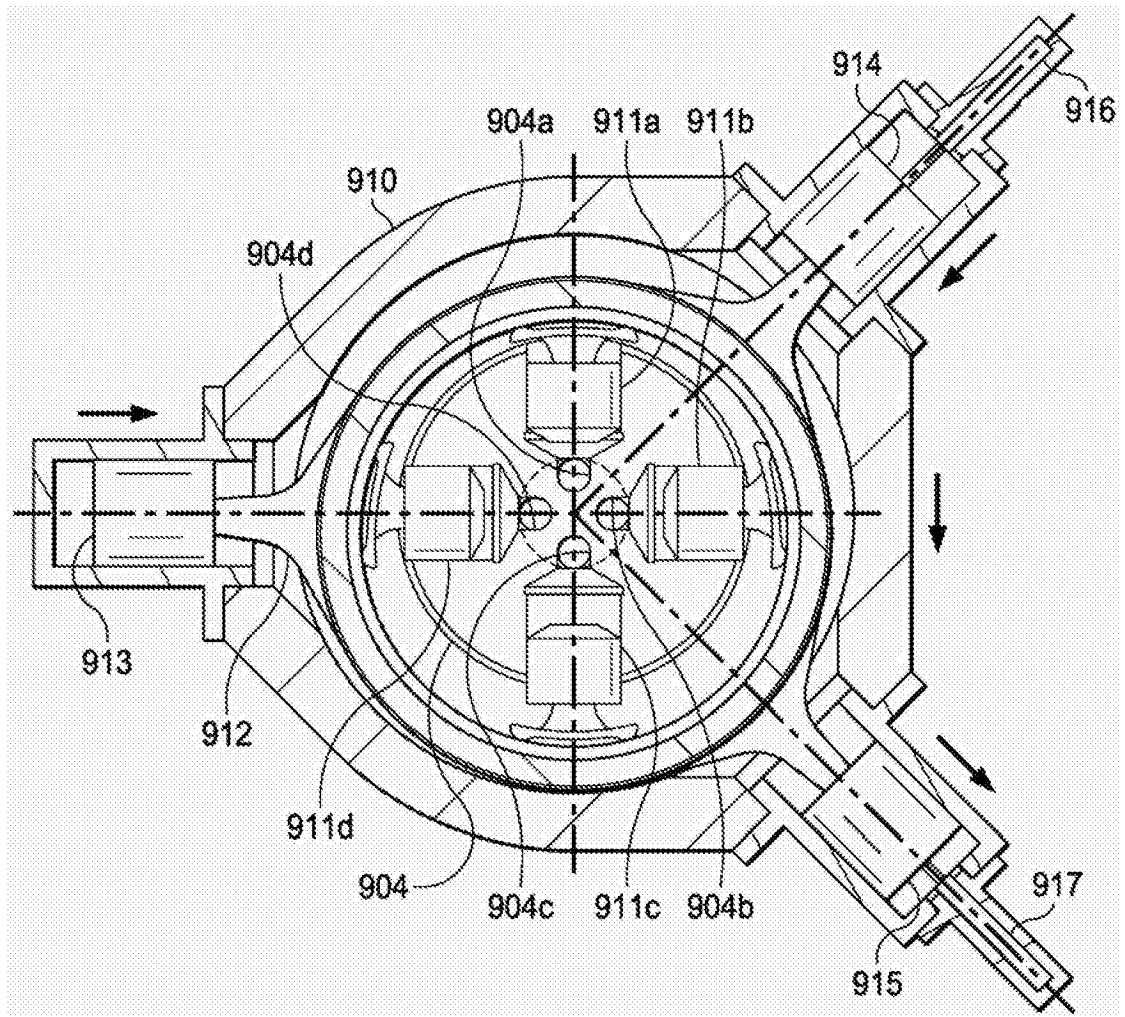


图13J

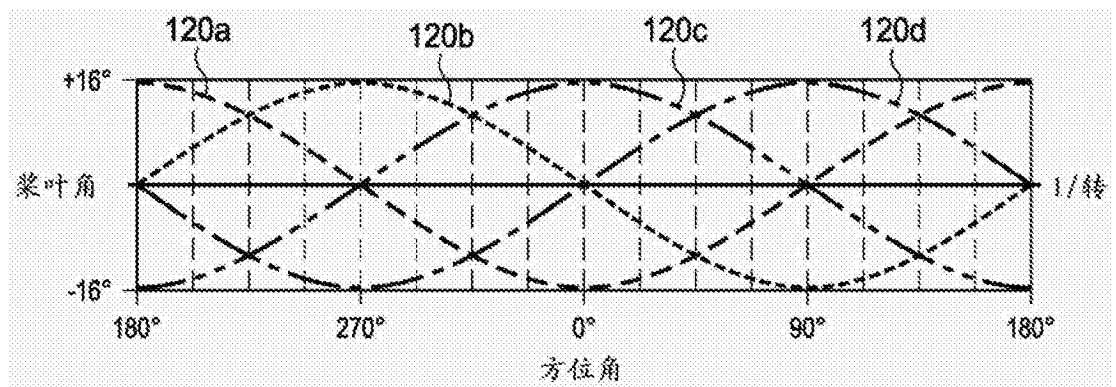


图13K

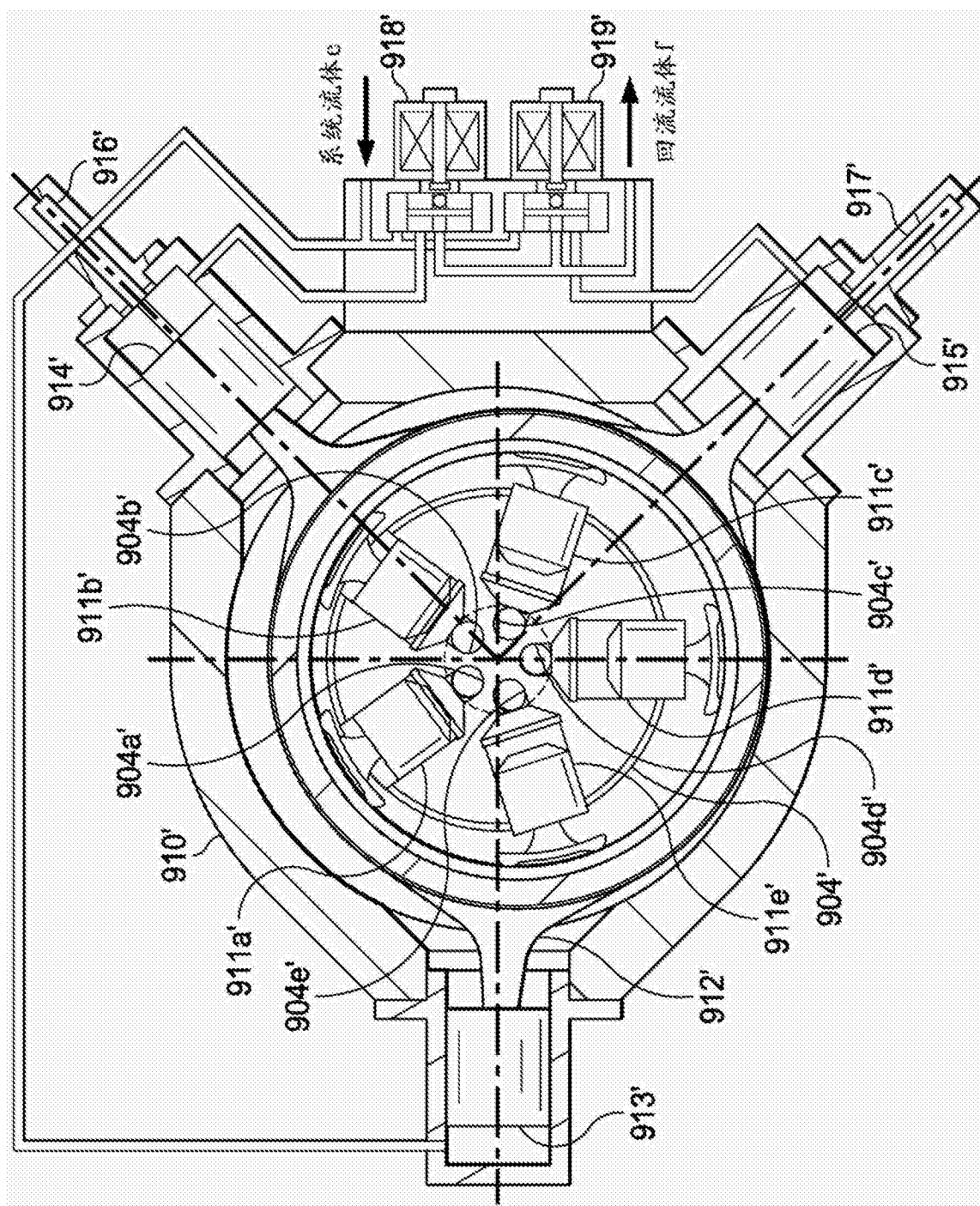


图13L

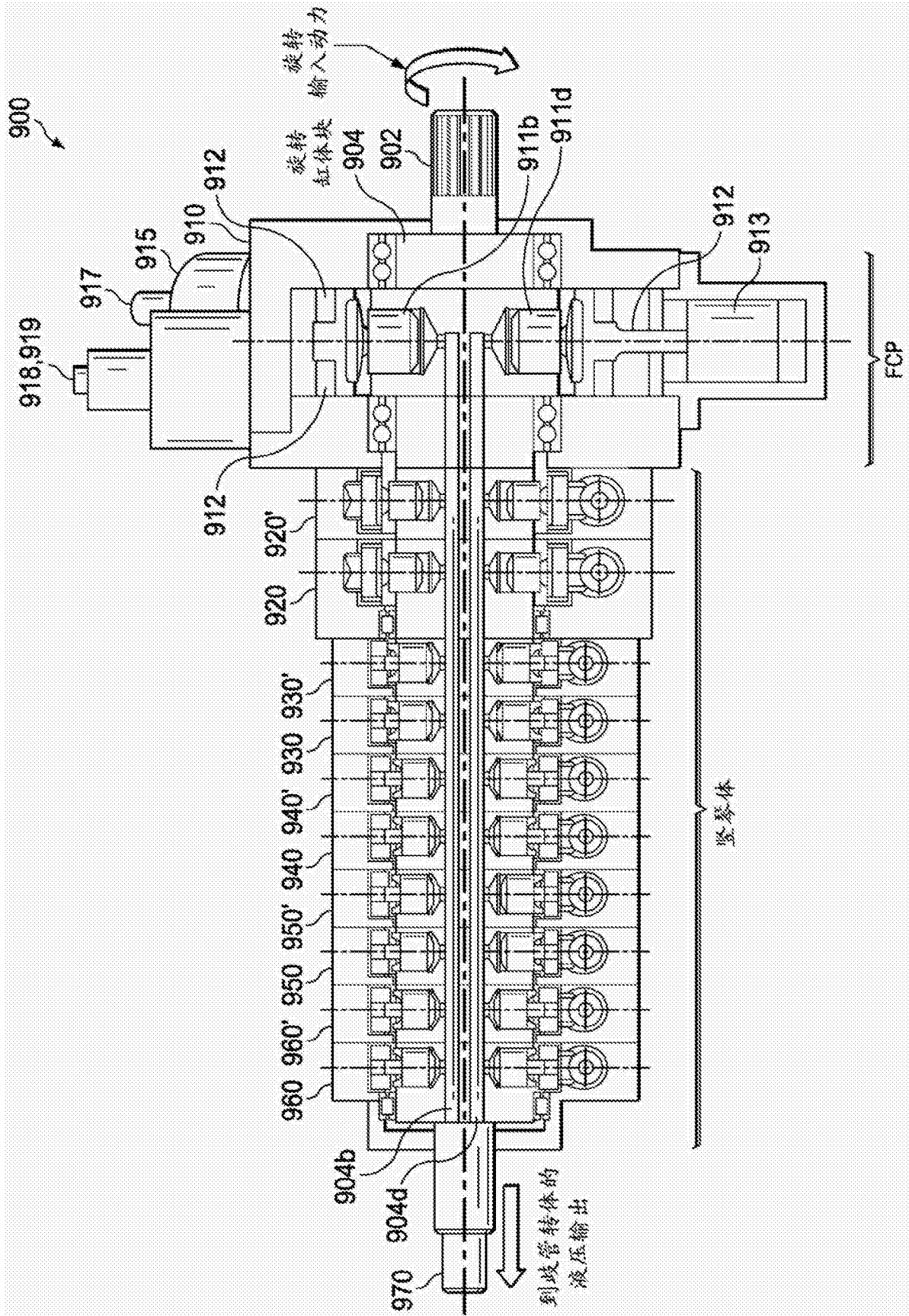


图13M

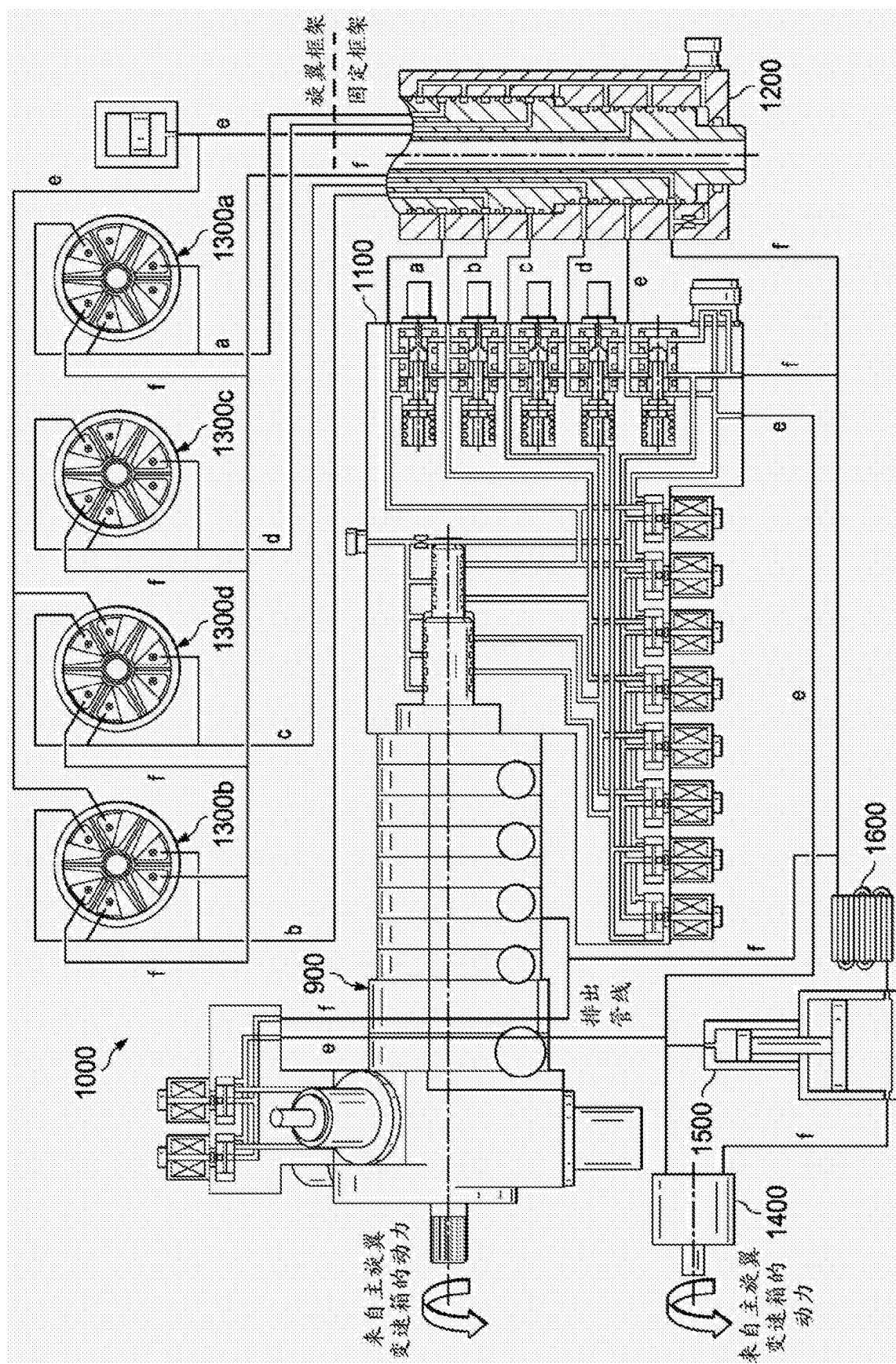


图 14A

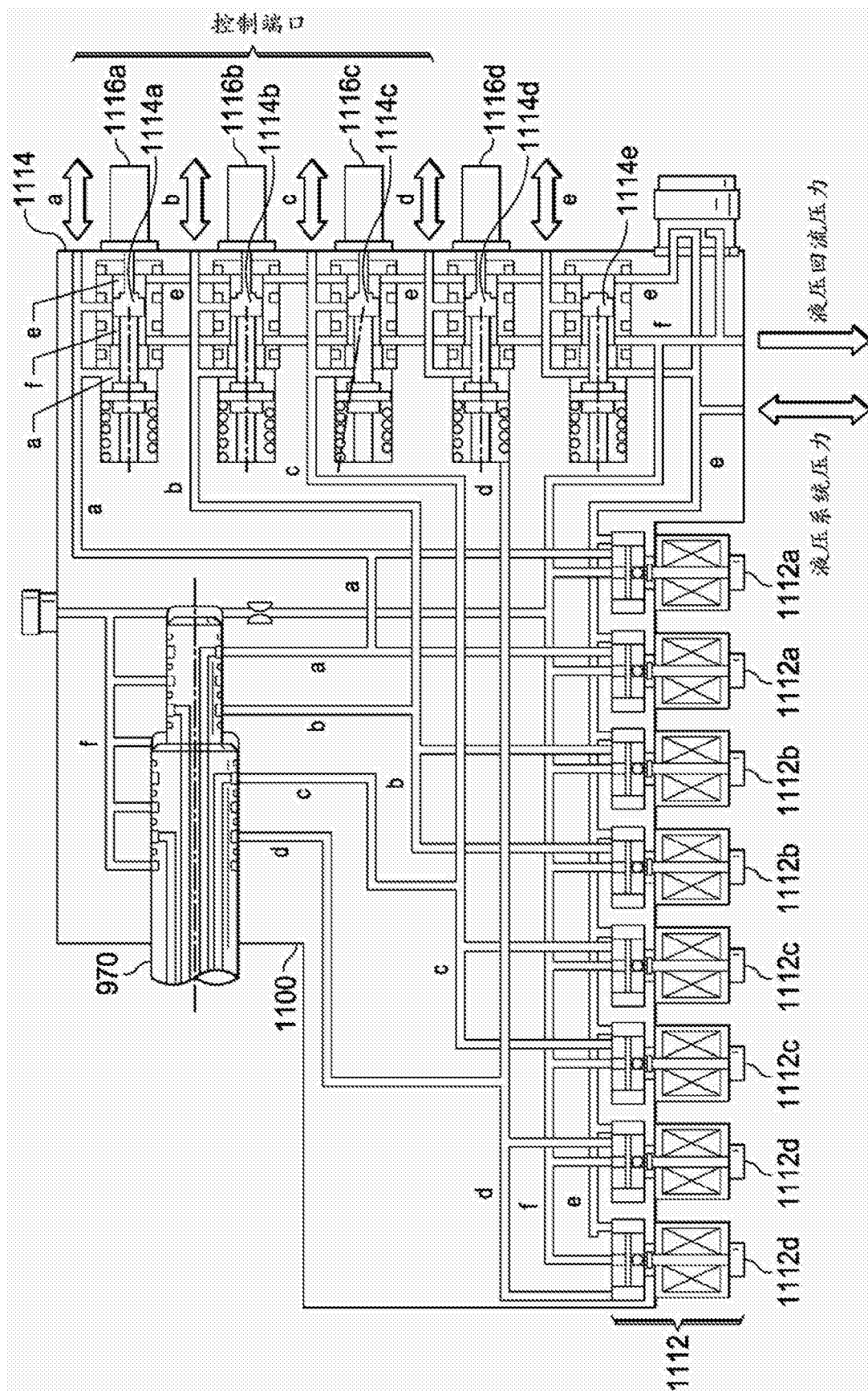


图14B

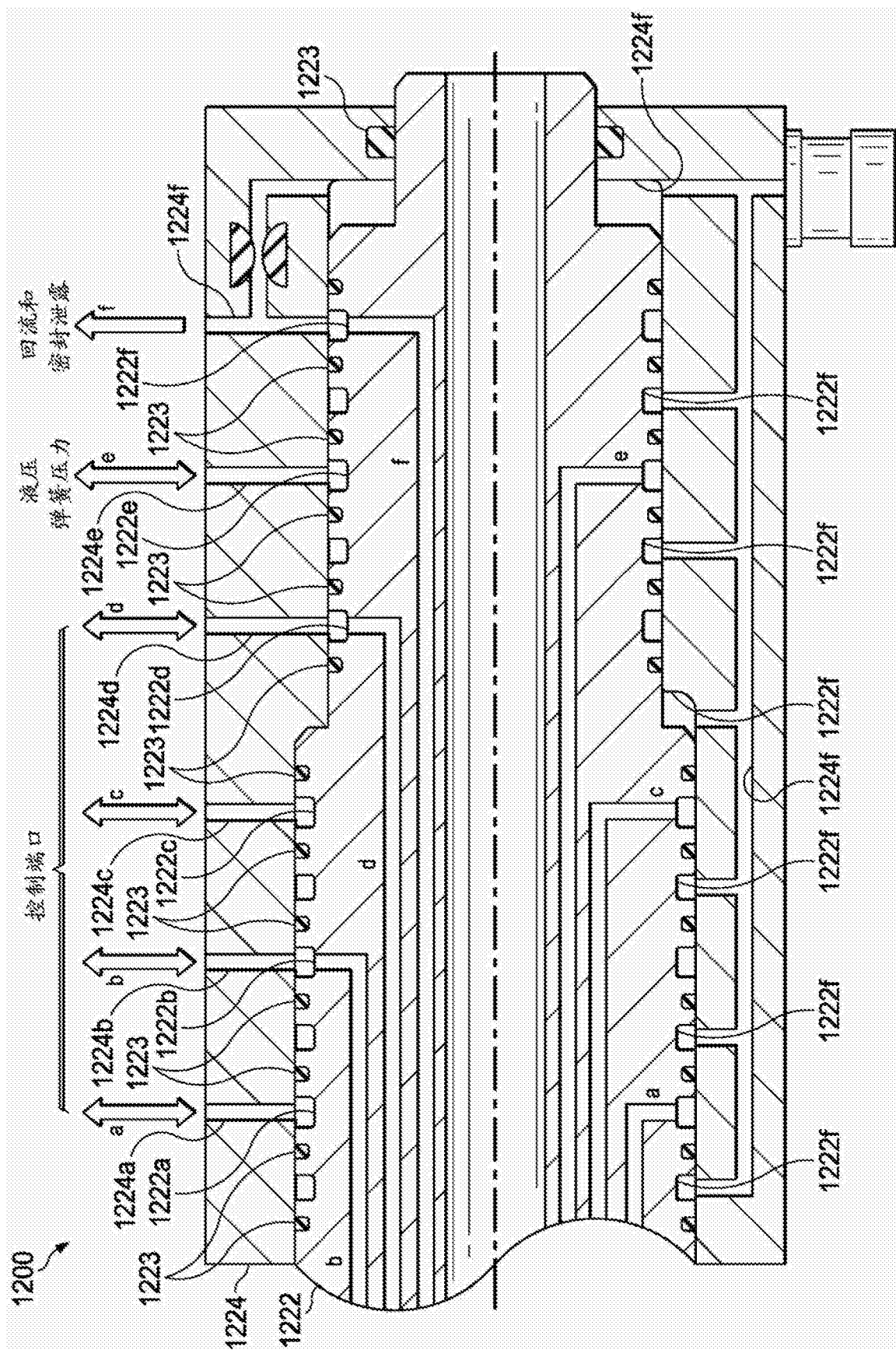


图14C

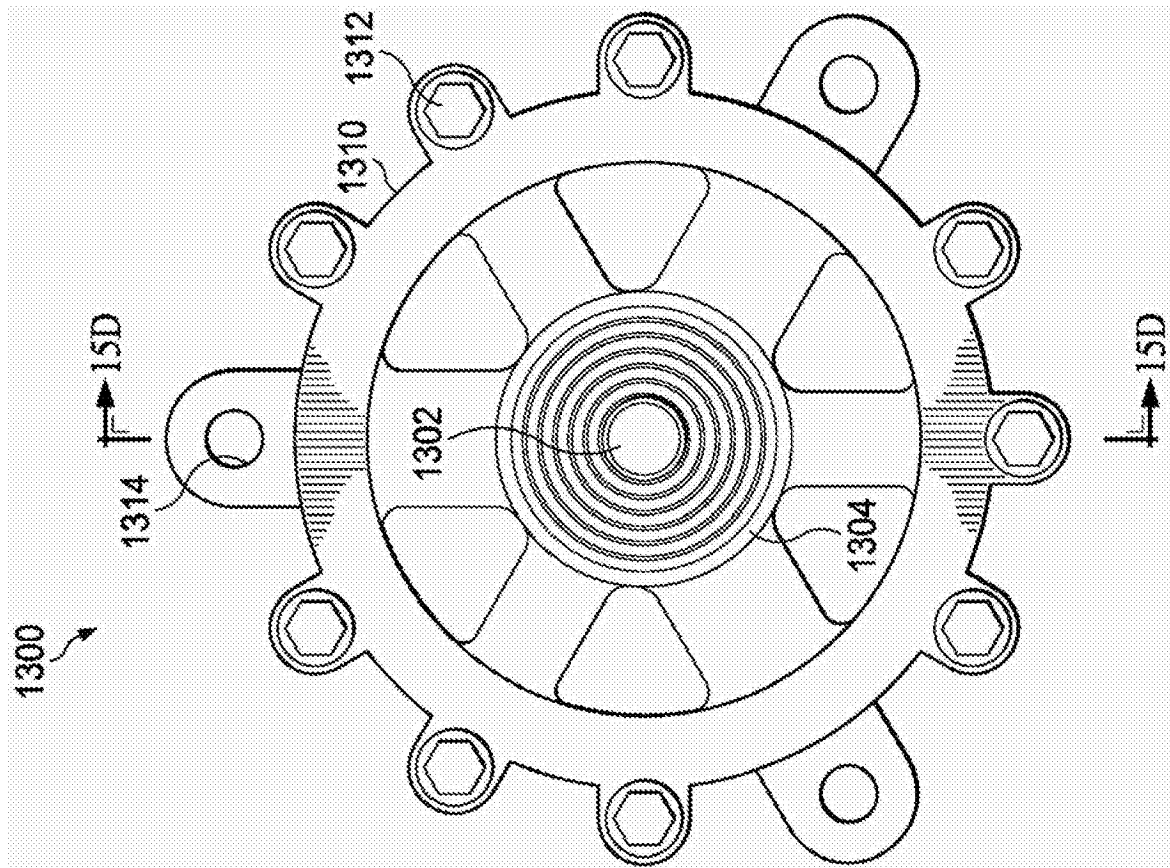


图15A

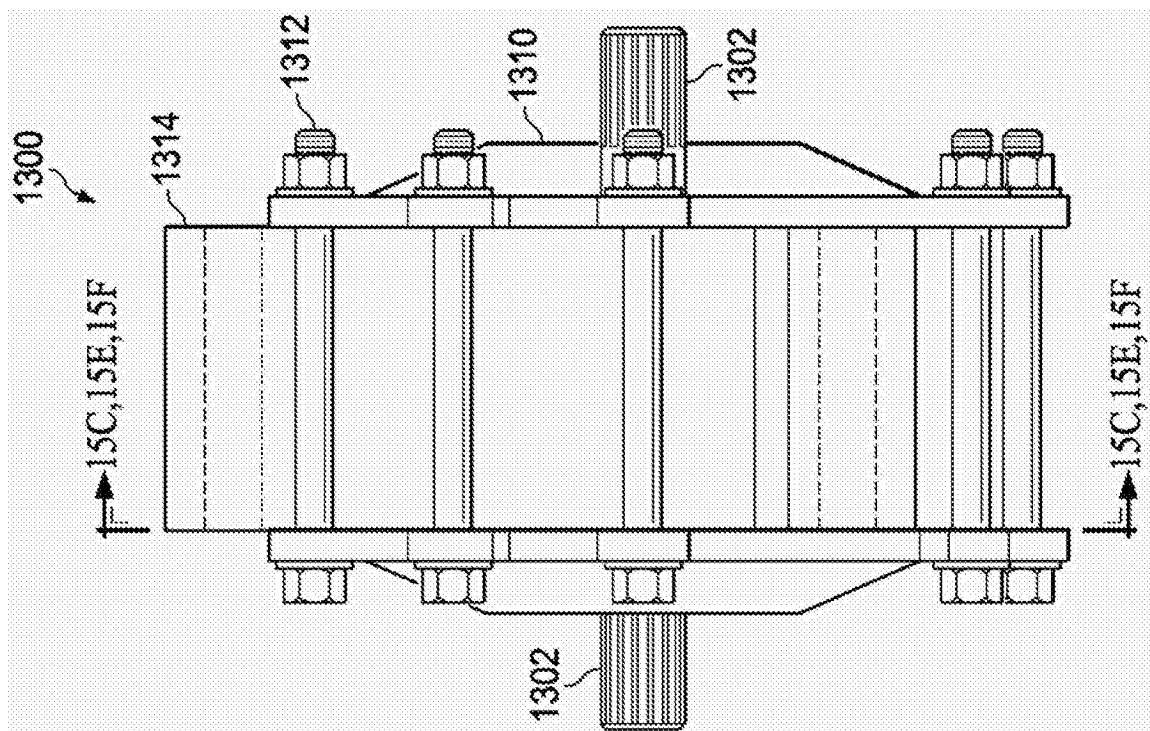


图15B

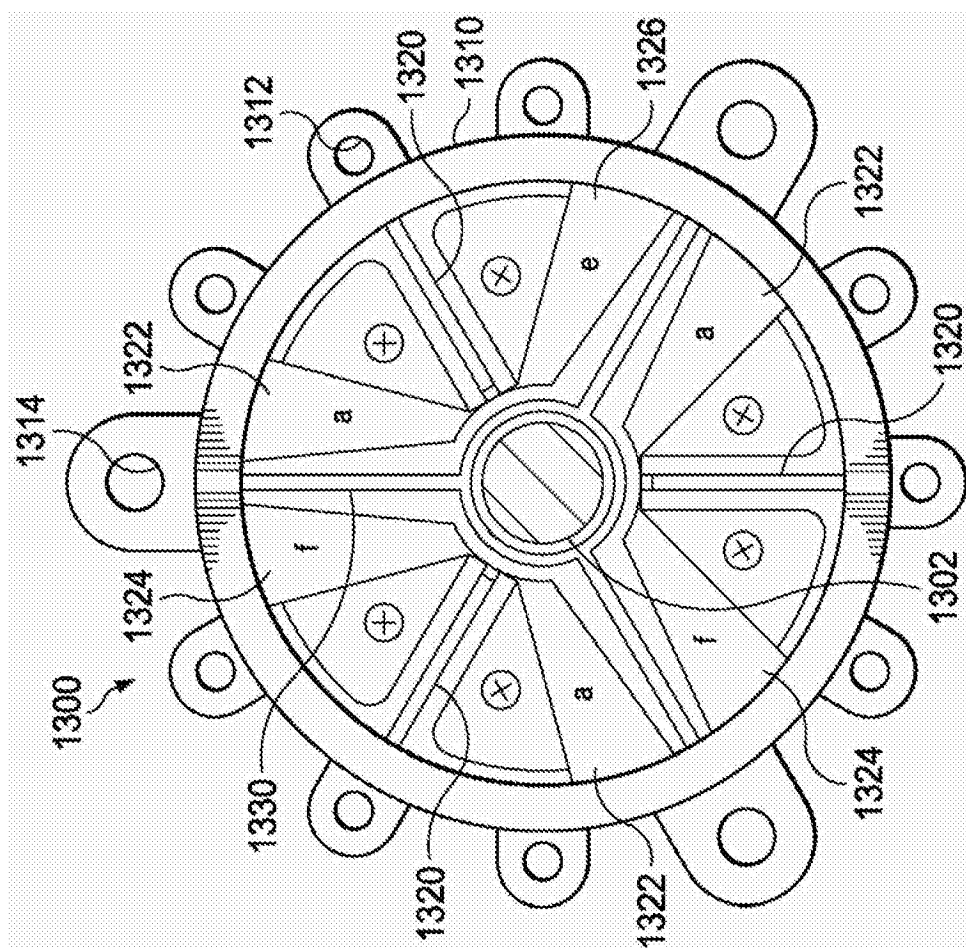


图15C

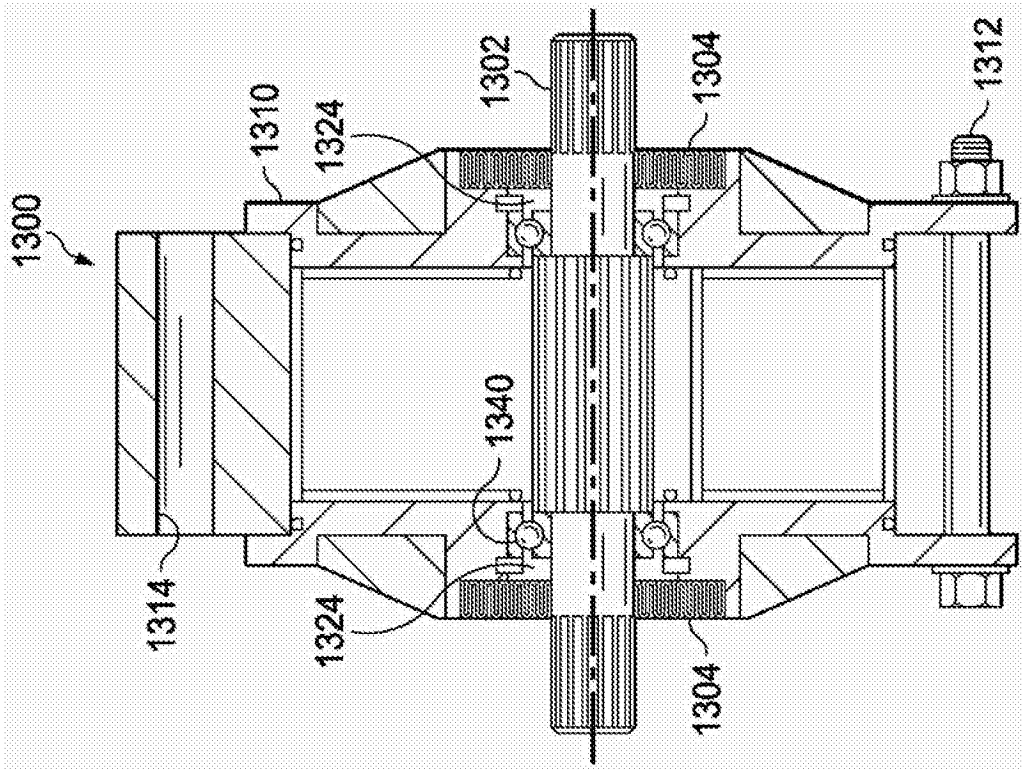


图15D

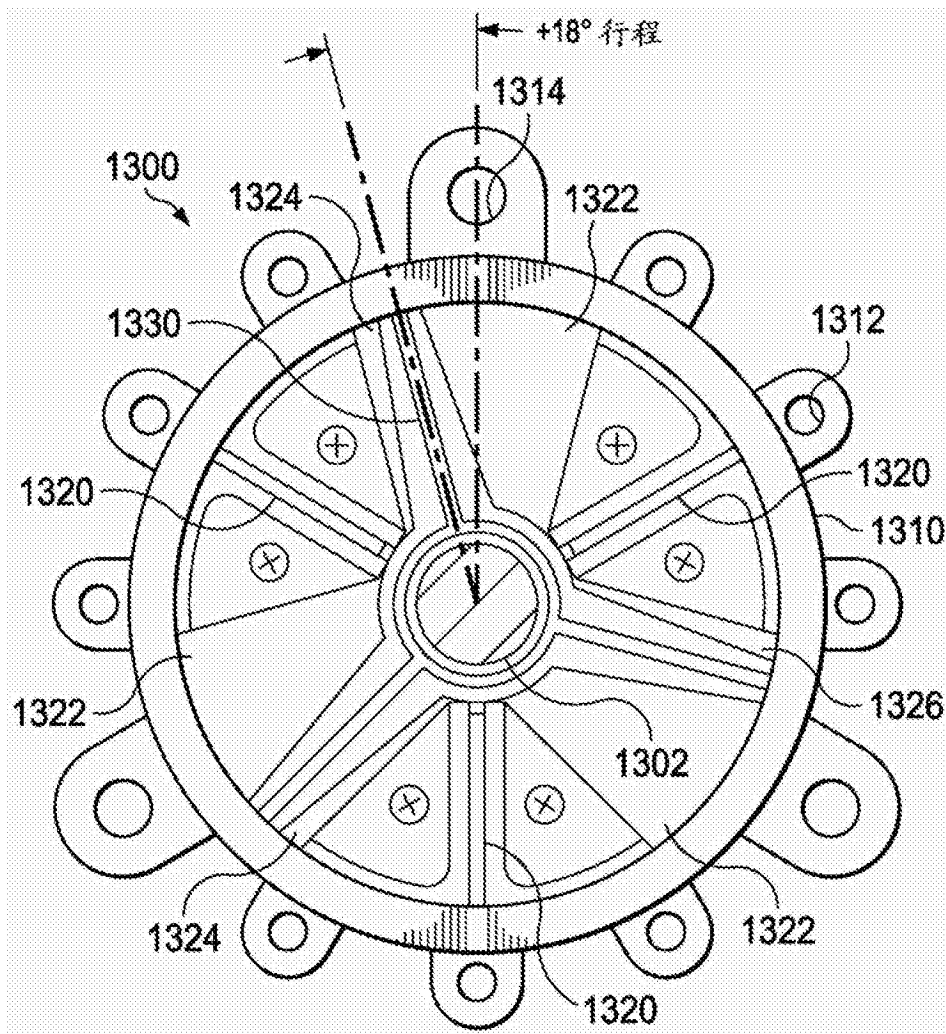


图15E

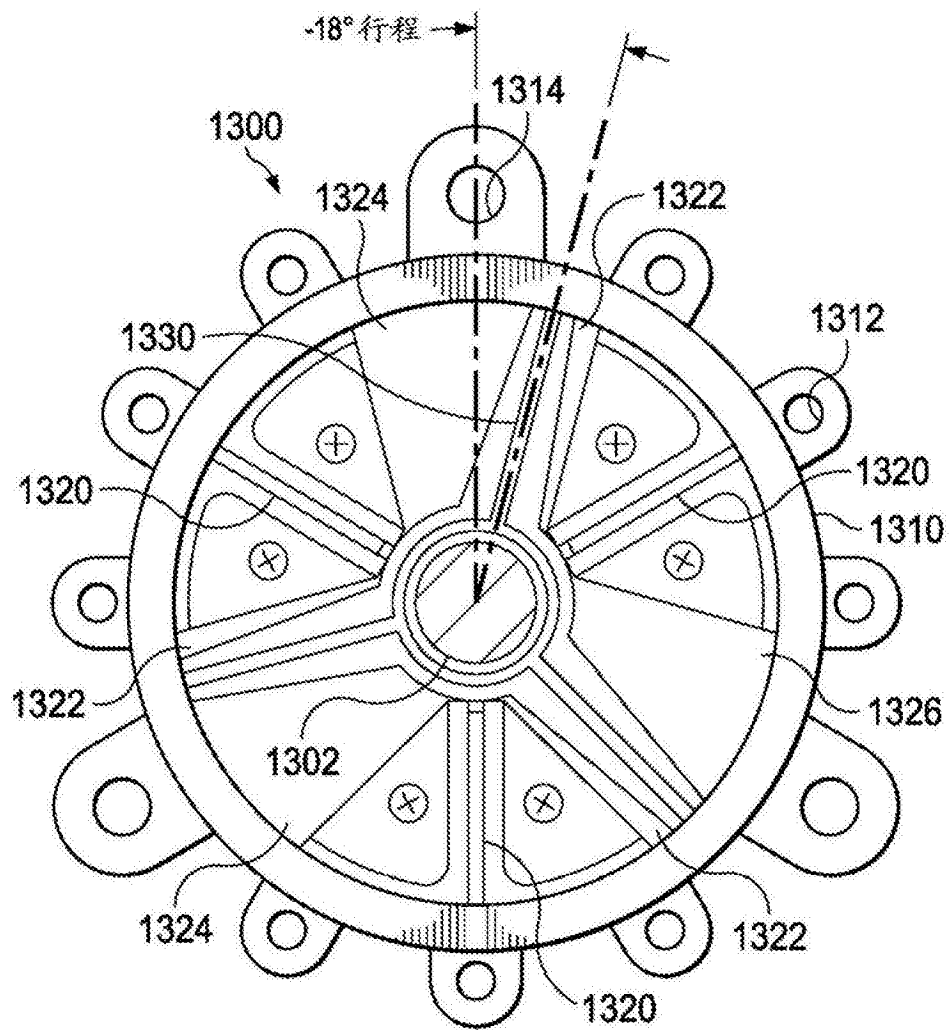


图15F

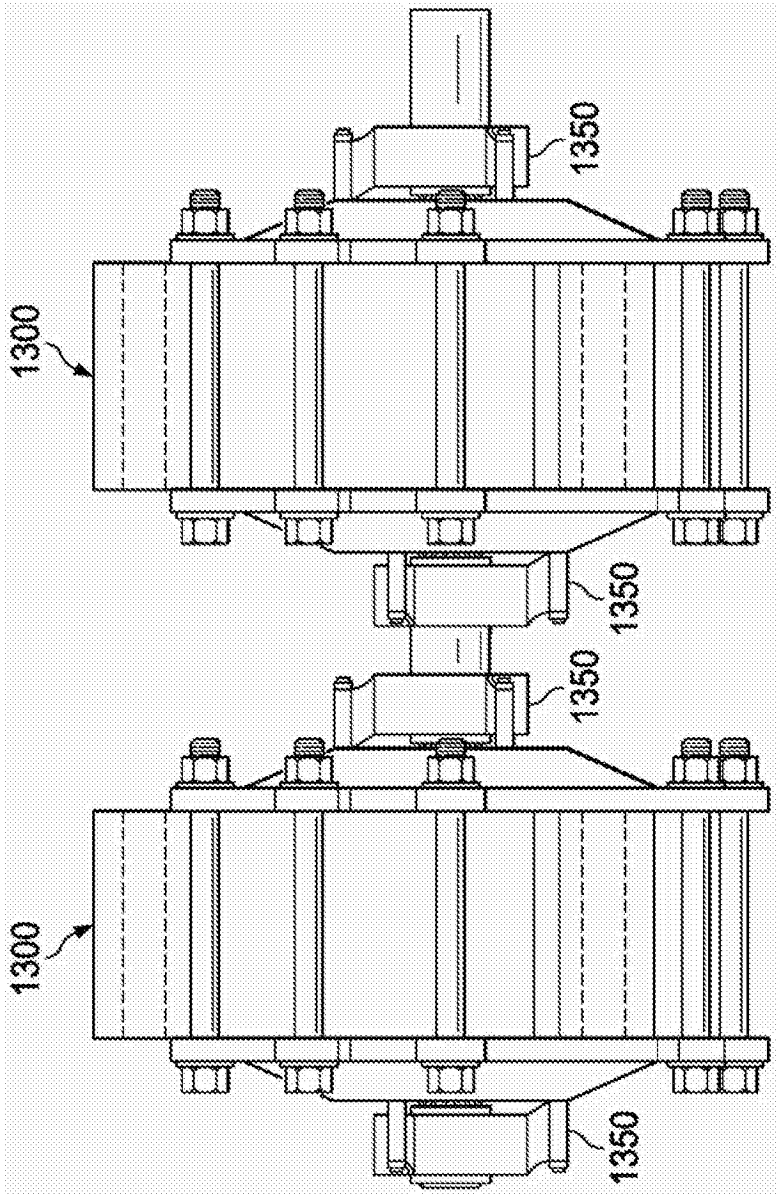


图16A

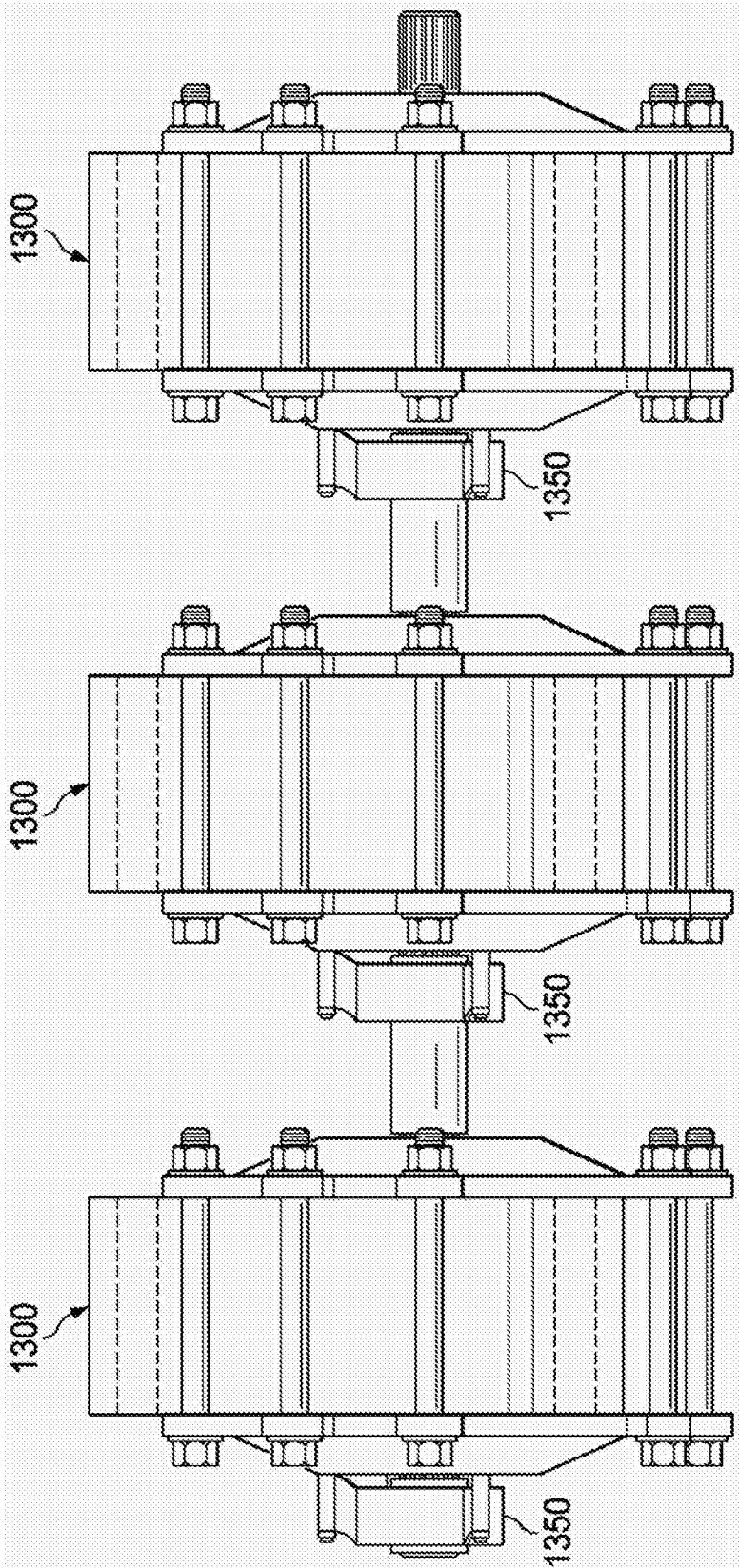


图16B

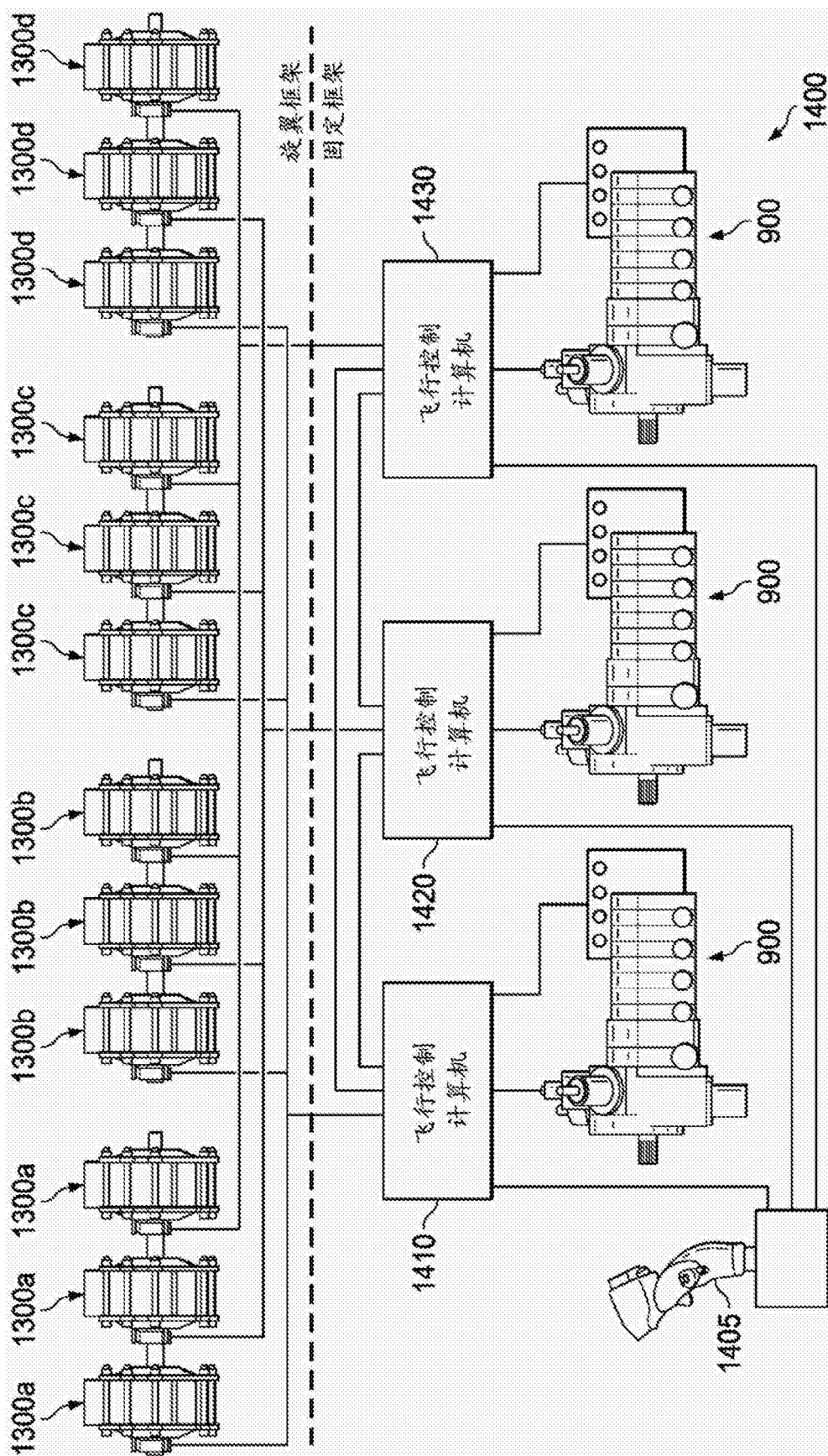


图17A

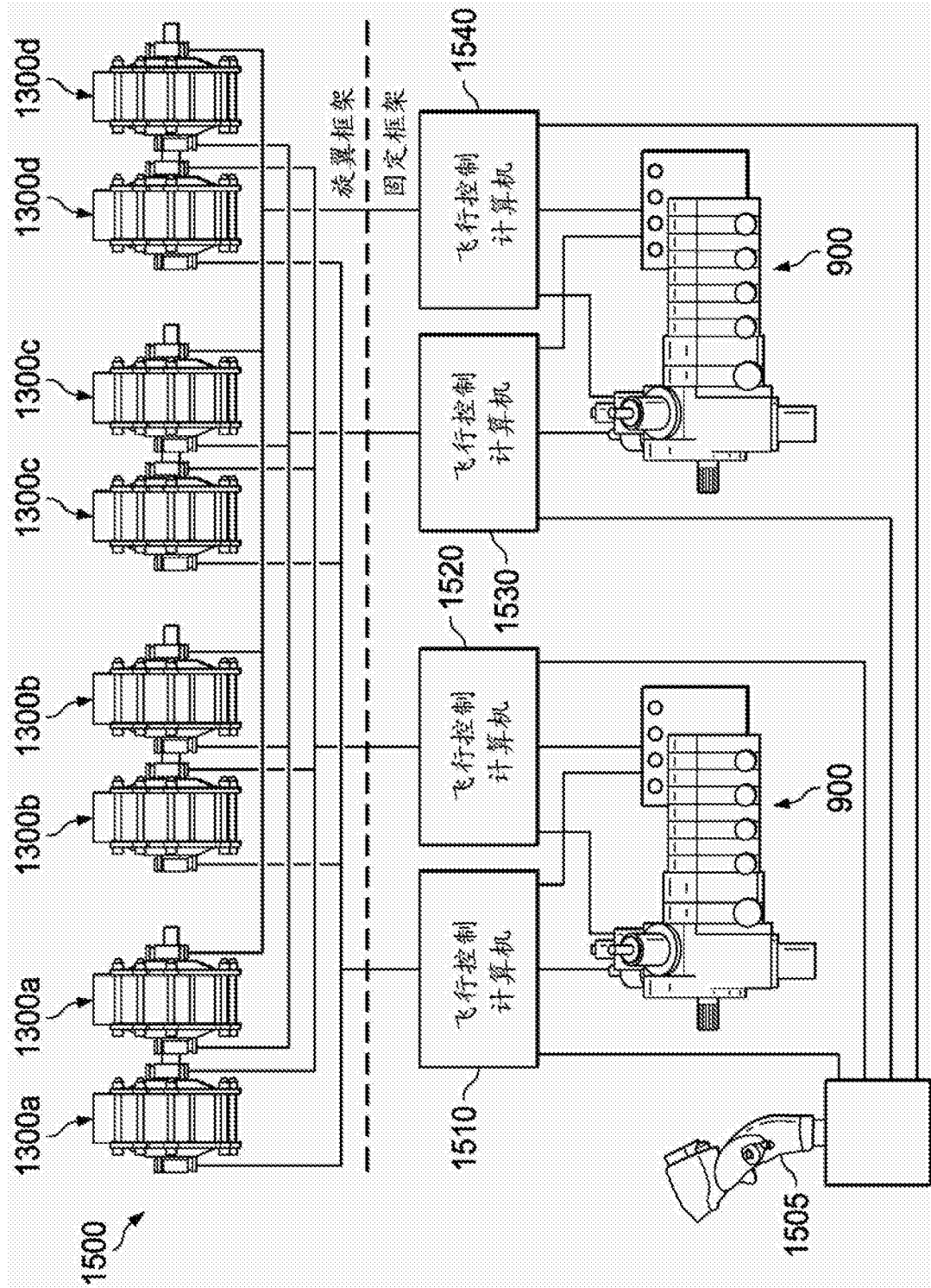


图17B