



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103661939 A

(43) 申请公布日 2014. 03. 26

(21) 申请号 201310334848. 3

(22) 申请日 2013. 08. 02

(30) 优先权数据

13/565, 554 2012. 08. 02 US

(71) 申请人 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 陈炜

(51) Int. Cl.

B64C 27/54 (2006. 01)

B64C 27/64 (2006. 01)

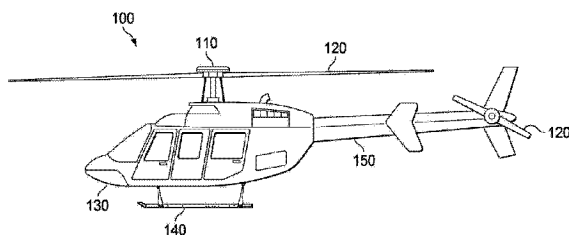
权利要求书2页 说明书26页 附图60页

(54) 发明名称

具有液压俯仰连杆的独立桨叶控制系统

(57) 摘要

公开了具有液压俯仰连杆的独立桨叶控制系统。根据一种实施方式,旋翼飞行器俯仰连杆包括壳体 and 活塞组件。壳体包括第一室和第二室。第一壳体开口允许第一流体流入第一室中,以及第二壳体开口允许第二流体流入第二室中。活塞组件至少部分地被布置在壳体内,并且包括活塞头和耦接至活塞头的活塞杆。活塞头将第一室与第二室分隔开。



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;
毂,所述毂耦接至所述驱动轴;
旋翼桨叶,所述旋翼桨叶耦接至所述毂;
斜盘,所述斜盘被定位成围绕所述驱动轴;以及
俯仰连杆,所述俯仰连杆耦接在所述斜盘和与所述旋翼桨叶相对应的所述毂之间,所述俯仰连杆包括:
壳体,所述壳体包括第一室和第二室,其中,第一壳体开口允许第一流体流入所述第一室中,以及第二壳体开口允许第二流体流入所述第二室中;以及
活塞组件,所述活塞组件至少部分地被布置在所述壳体内,并且包括活塞头和耦接至所述活塞头的活塞杆,所述活塞头将所述第一室与所述第二室分隔开,其中,所述俯仰连杆耦接在所述斜盘与所述毂之间,以使得所述活塞杆的运动改变所述斜盘与所述毂之间的距离。
2. 根据权利要求1所述的旋翼飞行器,还包括至少一个流体泵,所述至少一个流体泵能够操作以向所述第一室提供所述第一流体以及向所述第二室提供所述第二流体。
3. 根据权利要求1所述的旋翼飞行器,其中,所述第一流体具有变化的压力,以及所述第二流体具有近似恒定的压力。
4. 根据权利要求1所述的旋翼飞行器,其中,所述第一流体与所述第二流体之间的压力差能够操作以移动所述活塞头。
5. 根据权利要求1所述的旋翼飞行器,还包括位置传感器,所述位置传感器能够操作以测量所述活塞组件的运动。
6. 根据权利要求5所述的旋翼飞行器,其中,所述位置传感器为线性可变差动变压器。
7. 根据权利要求1所述的旋翼飞行器,所述俯仰连杆还包括活塞锁,所述活塞锁包括:
第二壳体,其中,第三壳体开口允许所述第二流体流入所述第二壳体中;以及
活塞锁组件,所述活塞锁组件至少部分地被布置在所述第二壳体内,所述活塞锁组件包括第二活塞头和第二活塞杆,其中,所述第二活塞杆能够操作以接合所述活塞杆。
8. 根据权利要求7所述的旋翼飞行器,其中,所述第二活塞杆能够操作以响应于所述第二流体的压力减小而接合所述活塞杆。
9. 一种提供独立桨叶控制的方法,包括:
在第一室中接收第一流体;
在第二室中接收第二流体;
响应于所述第一流体与所述第二流体之间的压力差而移动将所述第一室与所述第二室分隔开的活塞头;以及
响应于移动所述活塞头而移动旋翼飞行器的旋翼桨叶。
10. 根据权利要求9所述的方法,还包括改变所述第一流体的压力,其中,移动所述活塞头包括响应于所述第一流体的压力的变化而移动所述活塞头。
11. 根据权利要求9所述的方法,其中,移动所述旋翼桨叶包括改变所述旋翼飞行器的

斜盘与毂之间的距离。

12. 根据权利要求 9 所述的方法,其中,在所述第二室中接收所述第二流体还包括以近似恒定的压力保持所述第二流体。

13. 根据权利要求 9 所述的方法,还包括:如果所述第二流体的压力降低到阈值以下,则限制所述活塞头的运动。

14. 一种旋翼飞行器俯仰连杆,包括:

壳体,所述壳体包括第一室和第二室,其中,第一壳体开口允许第一流体流入所述第一室中,以及第二壳体开口允许第二流体流入所述第二室中;以及

活塞组件,所述活塞组件至少部分地被布置在所述壳体内,并且包括活塞头和耦接至所述活塞头的活塞杆,所述活塞头将所述第一室与所述第二室分隔开。

15. 根据权利要求 14 所述的旋翼飞行器俯仰连杆,其中,所述俯仰连杆被配置成耦接在旋翼飞行器的斜盘与毂之间,以使得所述活塞杆的运动改变所述斜盘与所述毂之间的距离。

16. 根据权利要求 14 所述的旋翼飞行器俯仰连杆,其中,所述第一流体具有变化的压力,以及所述第二流体具有近似恒定的压力。

17. 根据权利要求 14 所述的旋翼飞行器俯仰连杆,其中,所述第一流体与所述第二流体之间的压力差能够操作以移动所述活塞头。

18. 根据权利要求 14 所述的旋翼飞行器俯仰连杆,还包括位置传感器,所述位置传感器能够操作以测量所述活塞组件的运动。

19. 根据权利要求 18 所述的旋翼飞行器俯仰连杆,其中,所述位置传感器为线性可变差动变压器。

20. 根据权利要求 14 所述的旋翼飞行器俯仰连杆,所述俯仰连杆还包括活塞锁,所述活塞锁包括:

第二壳体,其中,第三壳体开口允许所述第二流体流入所述第二壳体中;以及

活塞锁组件,所述活塞锁组件至少部分地被布置在所述第二壳体内,所述活塞锁组件包括第二活塞头和第二活塞杆,其中,所述第二活塞杆能够操作以接合所述活塞杆。

21. 根据权利要求 20 所述的旋翼飞行器俯仰连杆,其中,所述第二活塞杆能够操作以响应于所述第二流体的压力减小而接合所述活塞杆。

具有液压俯仰连杆的独立桨叶控制系统

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液压俯仰连杆的独立桨叶控制系统。

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] 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

[0005] 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:

- [0006] 图 1 示出了根据一种示例配置的旋翼飞行器;
- [0007] 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;
- [0008] 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;
- [0009] 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;
- [0010] 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;
- [0011] 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;
- [0012] 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;
- [0013] 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;
- [0014] 图 6A 和图 6B 示出了示例液压致动系统;
- [0015] 图 7A 和图 7B 示出了另一示例液压致动系统;
- [0016] 图 8A 和图 8B 示出了又一示例液压致动系统;

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；

[0017] 图 9A 示出了根据一种实施方式的又一示例液压致动系统；

[0018] 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；

[0019] 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；

[0020] 图 11A 至图 11J 示出了图 10A 至图 10S 的径向流体装置的备选实施方式；

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)；

[0021] 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；

[0022] 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；

[0023] 图 13K 示出了图 13A 至图 13J 和图 13M 的径向流体装置的备选实施方式；

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 系统中的独立桨叶控制的基本周期泵；

[0024] 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；

[0025] 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；

[0026] 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；

[0027] 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；

[0028] 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

[0029] 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

[0030] 旋翼系统

[0031] 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示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 的教示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。

[0032] 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。

[0033] 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。

[0034] 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。

[0035] 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。

[0036] 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。

[0037] 独立桨叶控制

[0038] 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。

[0039] 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。

[0040] 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)。

[0041] 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。

[0042] 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。

[0043] 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。

[0044] 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。

[0045] 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。

[0046] 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)。

[0047] 液压系统

[0048] 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。

[0049] 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。

[0050] 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。

[0051] 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。

[0052] 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。

[0053] 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。

[0054] 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。

[0055] 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。

[0056] 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。

[0057] 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。

[0058] 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。

[0059] 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。

[0060] 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。

[0061] 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。

[0062] 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。

[0063] 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。

[0064] 部分权限 IBC

[0065] 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。

[0066] 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。

[0067] 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。

[0068] 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。

[0069] 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。

[0070] 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。

[0071] 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。

[0072] 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。

[0073] 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。

[0074] 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。

[0075] 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。

[0076] 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。

[0077] 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。

[0078] 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。

[0079] 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。

[0080] 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。

[0081] 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。

[0082] 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。

[0083] 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。

[0084] 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。

[0085] 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。

[0086] 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。

[0087] 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。

[0088] 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。

[0089] 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)。

[0090] 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。

[0091] 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。

[0092] 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。

[0093] 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。

[0094] 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)。

[0095] 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。

[0096] 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。

[0097] 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。

[0098] 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。

[0099] 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)。

[0100] 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。

[0101] 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。

[0102] 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。

[0103] 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。

[0104] 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)。

[0105] 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。

[0106] 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。

[0107] 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。

[0108] 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)。

[0109] 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。

[0110] 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)。

[0111] 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。

[0112] 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。

[0113] 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。

[0114] 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。

[0115] 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。

[0116] 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。

[0117] 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。

[0118] 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。

[0119] 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)。

[0120] 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。

[0121] 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。

[0122] 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。

[0123] 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)。

[0124] 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。

[0125] 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。

[0126] 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。

[0127] 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)。

[0128] 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。

[0129] 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。

[0130] 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。

[0131] 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)。

[0132] 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。

[0133] 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。

[0134] 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。

[0135] 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。

[0136] 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。

[0137] 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。

[0138] 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。

[0139] 实现部分权限 IBC

[0140] 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。

[0141] 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。

[0142] 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。

[0143] 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。

[0144] 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。

[0145] 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。

[0146] 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。

[0147] 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。

[0148] 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。

[0149] 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。

[0150] 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。

[0151] 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。

[0152] 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。

[0153] 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。

[0154] 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。

[0155] 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。

[0156] 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。

[0157] 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。

[0158] 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。

[0159] 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。

[0160] 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。

[0161] 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。

[0162] 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。

[0163] 全部权限 IBC

[0164] 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。

[0165] 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。

[0166] 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。

[0167] 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。

[0168] 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。

[0169] 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。

[0170] 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。

[0171] 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。

[0172] 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。

[0173] 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。

[0174] 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。

[0175] 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。

[0176] 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。

[0177] 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。

[0178] 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。

[0179] 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。

[0180] 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。

[0181] 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。

[0182] 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。

[0183] 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。

[0184] 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。

[0185] 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。

[0186] 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。

[0187] 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。

[0188] 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。

[0189] 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)。

[0190] 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。

[0191] 实现全部权限 IBC

[0192] 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。

[0193] 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。

[0194] 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。

[0195] 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。

[0196] 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。

[0197] 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。

[0198] 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。

[0199] 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。

[0200] 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。

[0201] 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。

[0202] 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。

[0203] 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。

[0204] 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开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。

[0205] 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。

[0206] 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。

[0207] 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。

[0208] 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。

[0209] 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。

[0210] 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。

[0211] 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。

[0212] 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。

[0213] 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。

[0214] 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。

[0215] 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。

[0216] 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。

[0217] 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。

[0218] 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。

[0219] 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。

[0220] 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。

[0221] 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: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。

[0222] 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。

[0223] 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。

[0224] 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。

[0225] 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。

[0226] 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。

[0227] 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。

[0228] 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。

[0229] 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。

[0230] 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，可以有替代方案和替选方案。

[0231] 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。

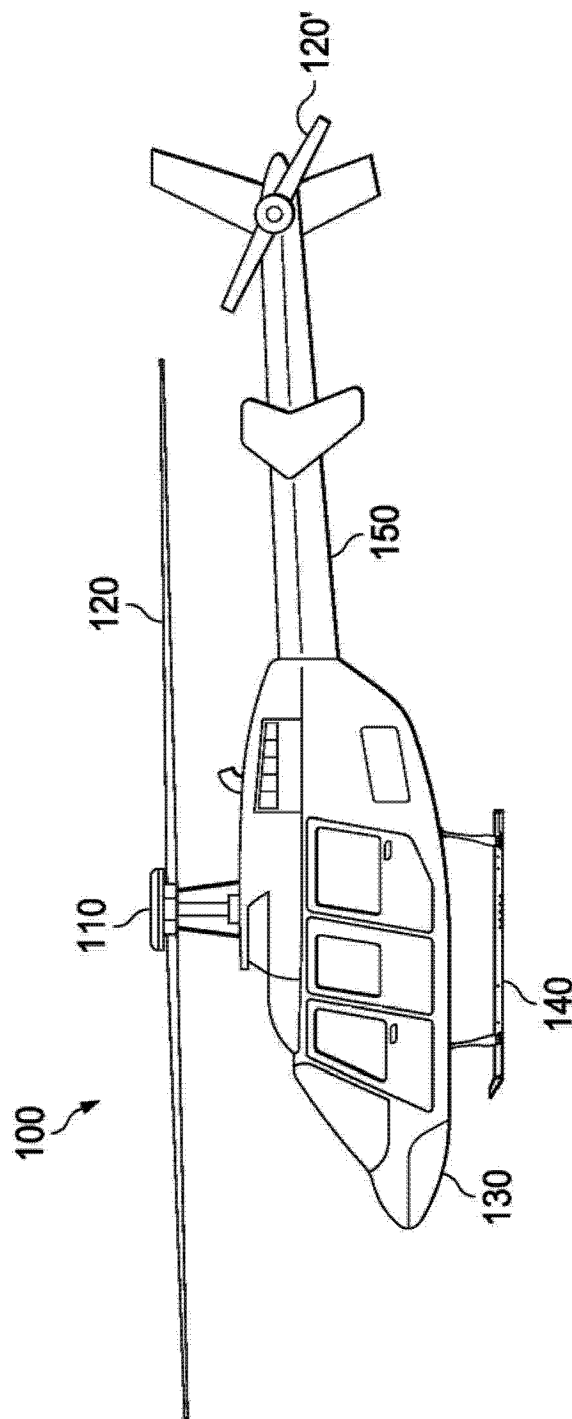


图 1

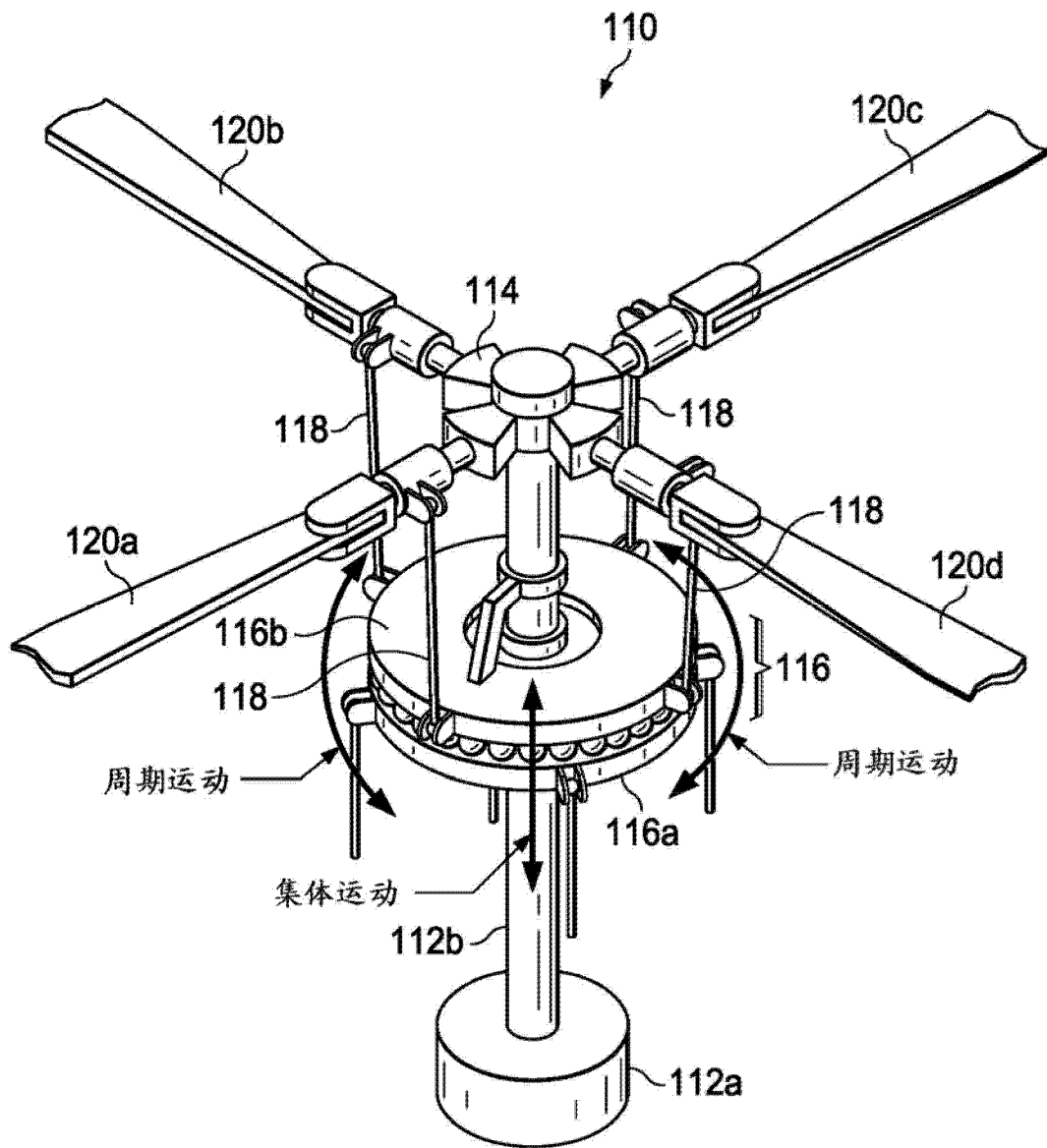


图 2

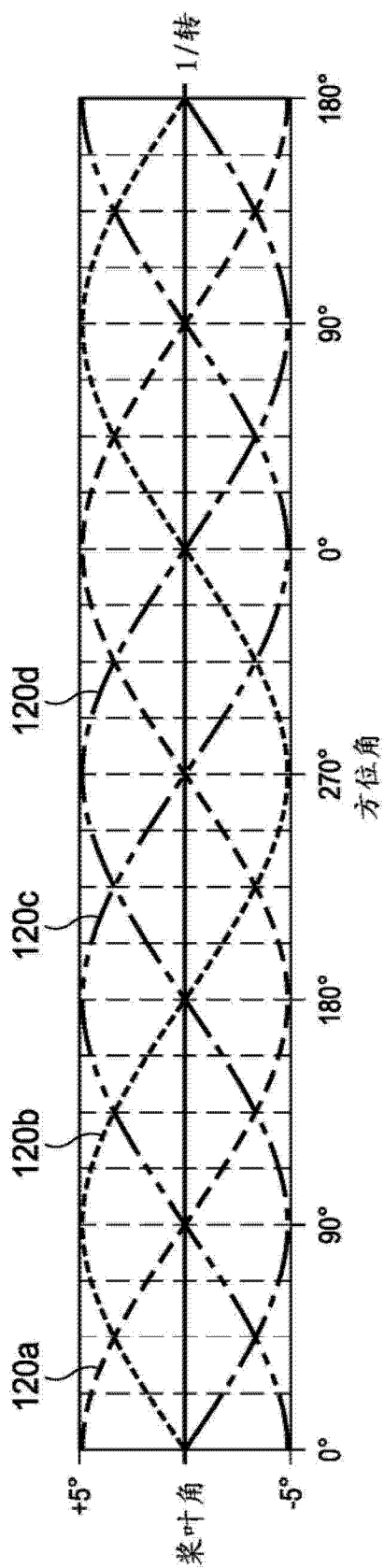


图 3A

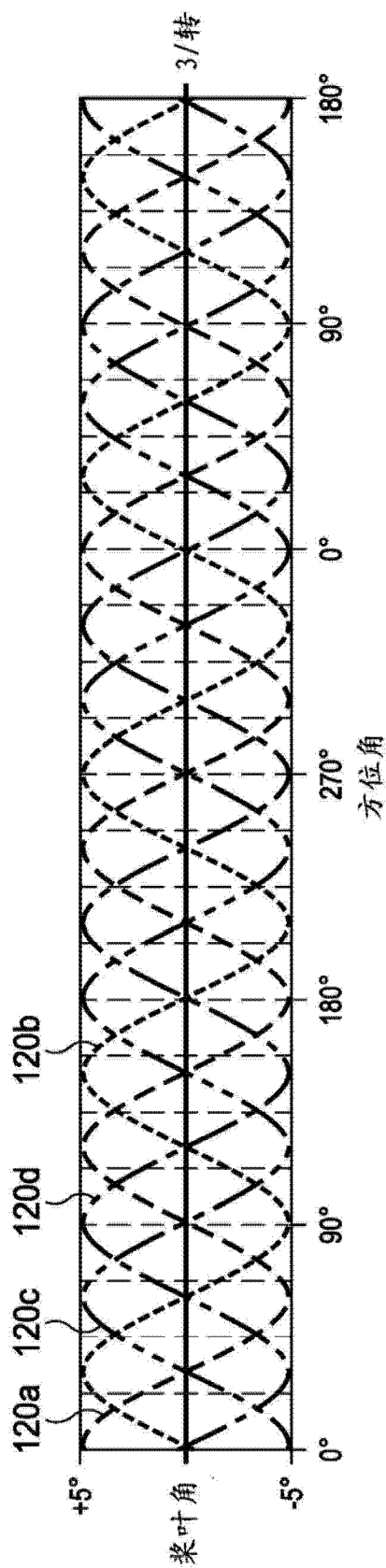


图 3B

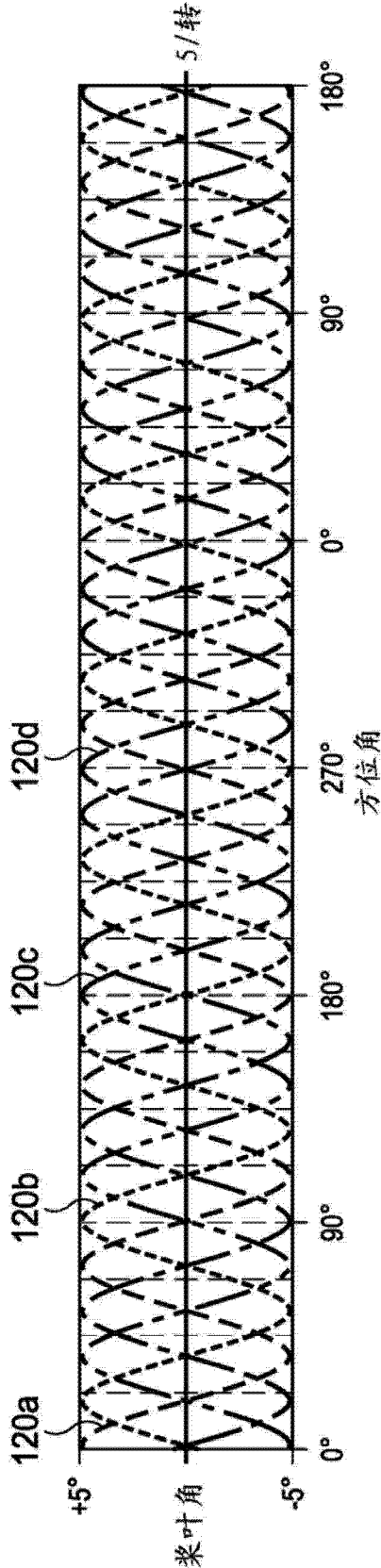


图 3C

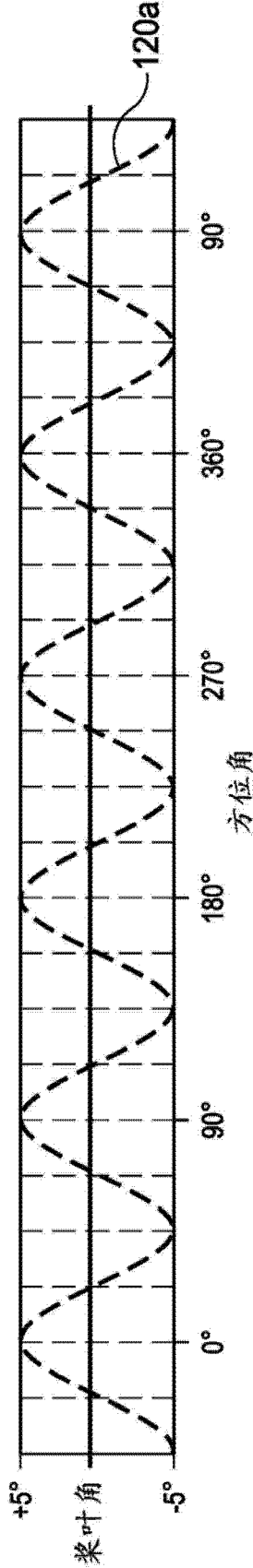


图 4A

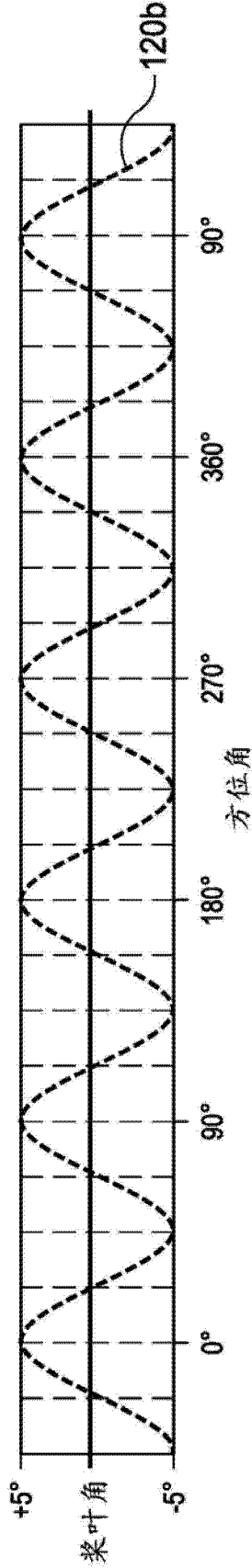


图 4B

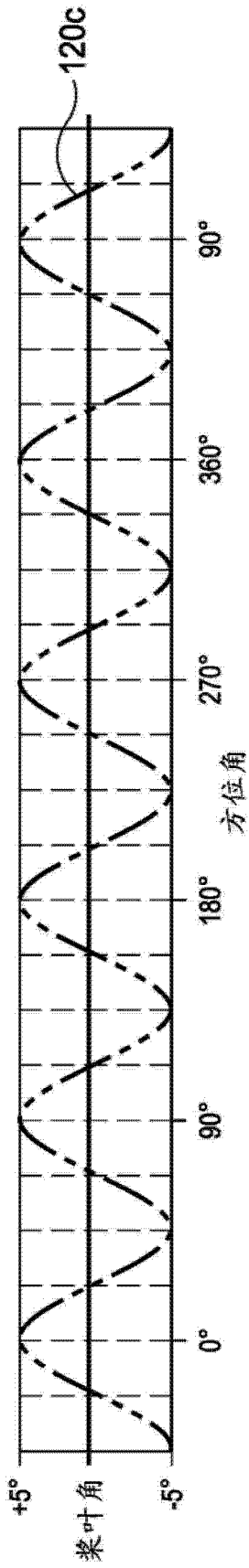


图 4C

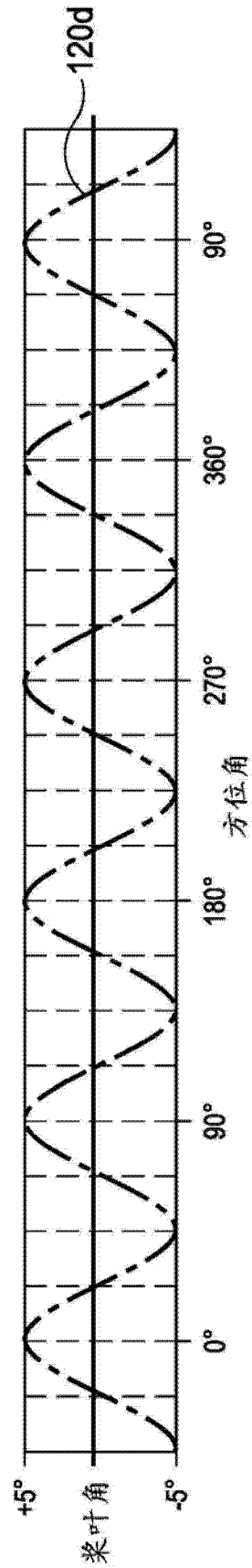


图 4D

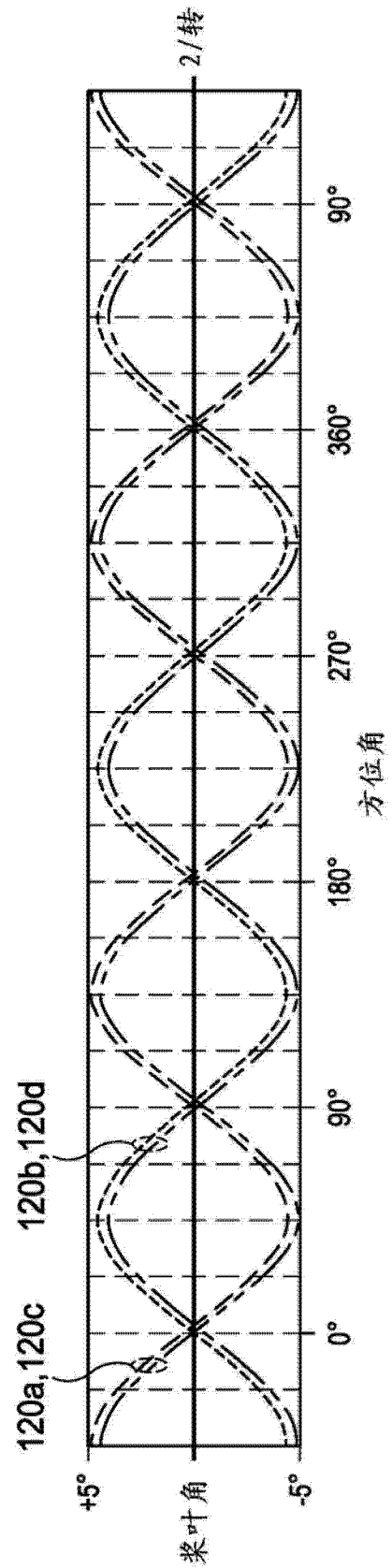


图 5A

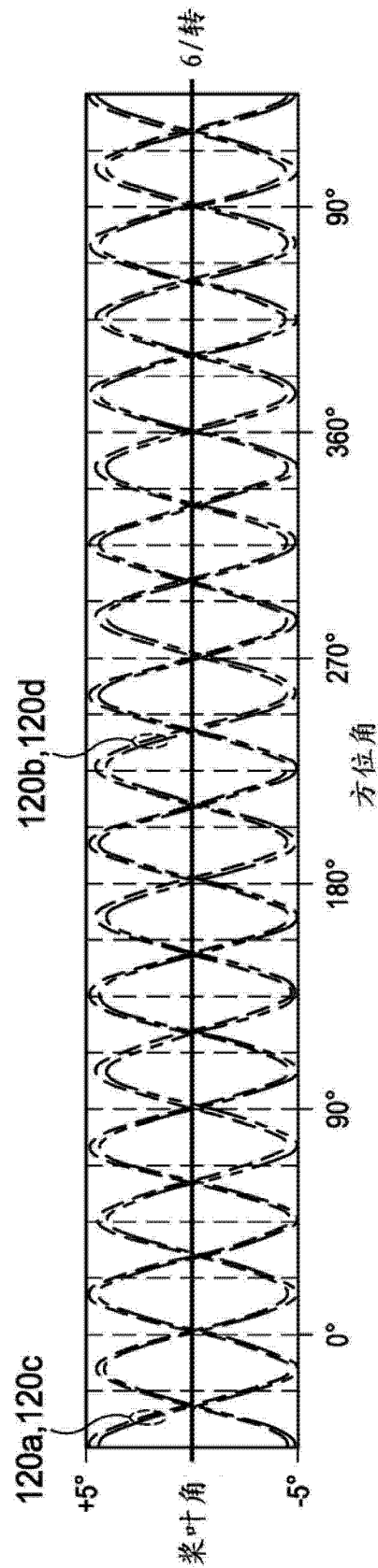


图 5B

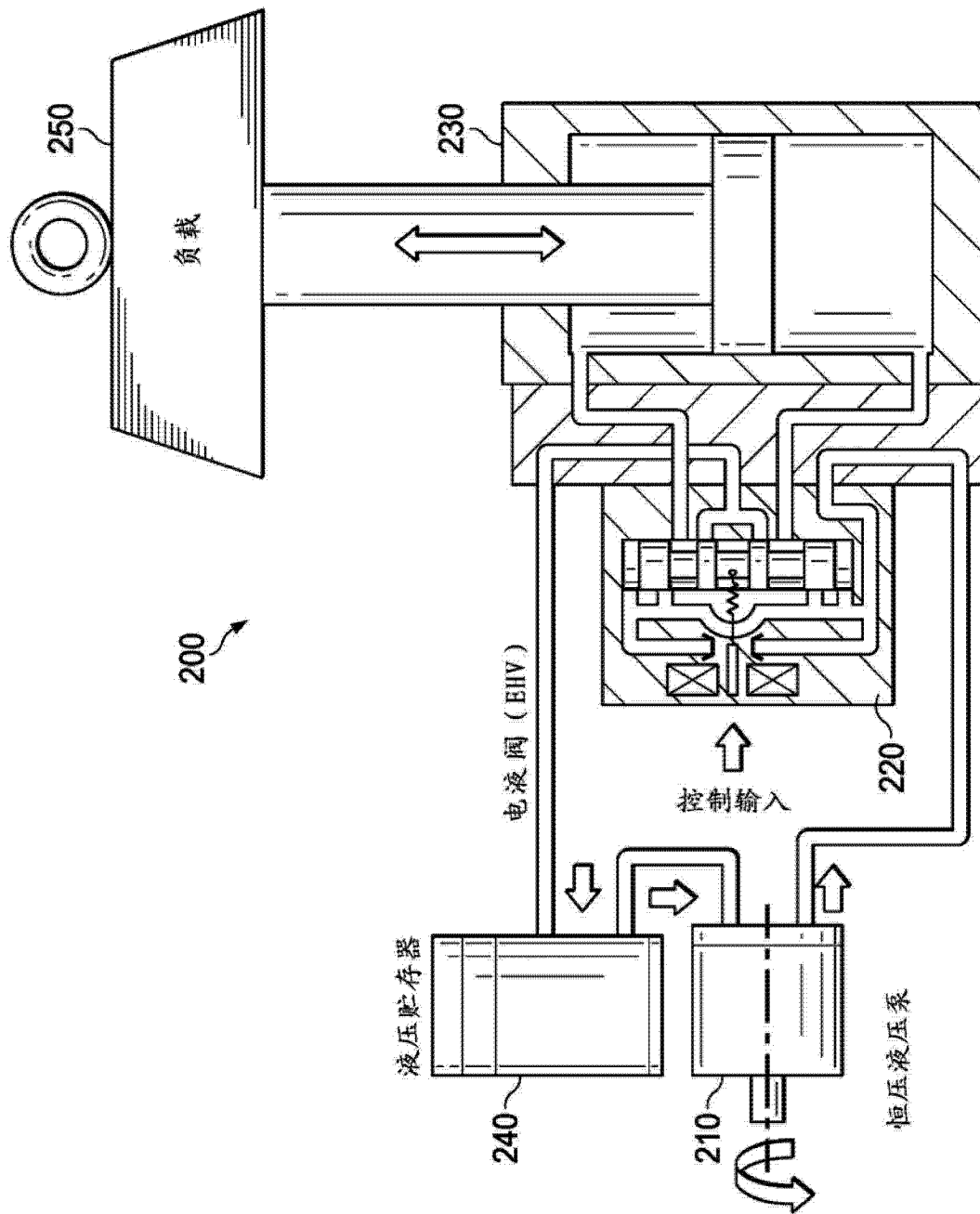


图 6A(现有技术)

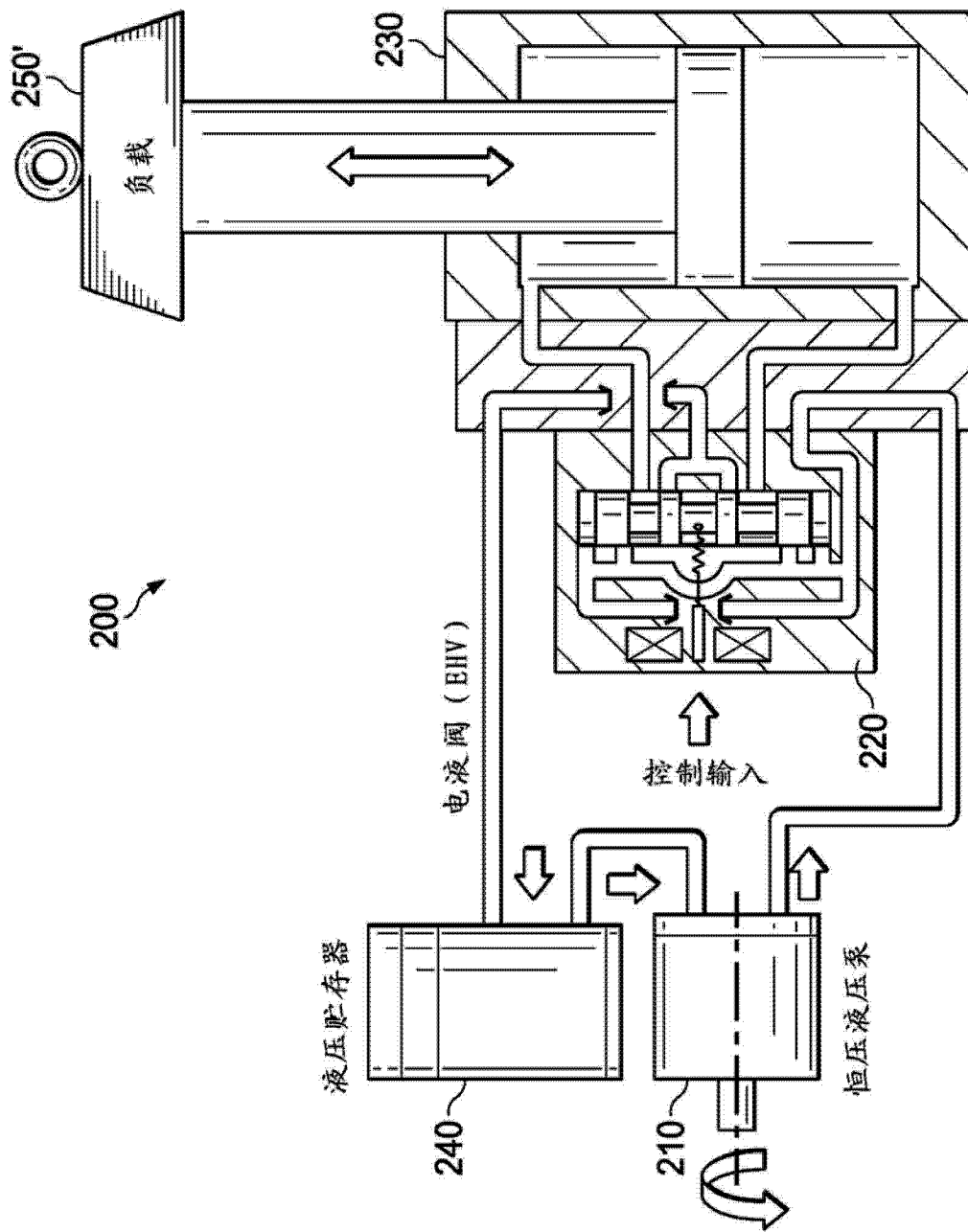


图 6B(现有技术)

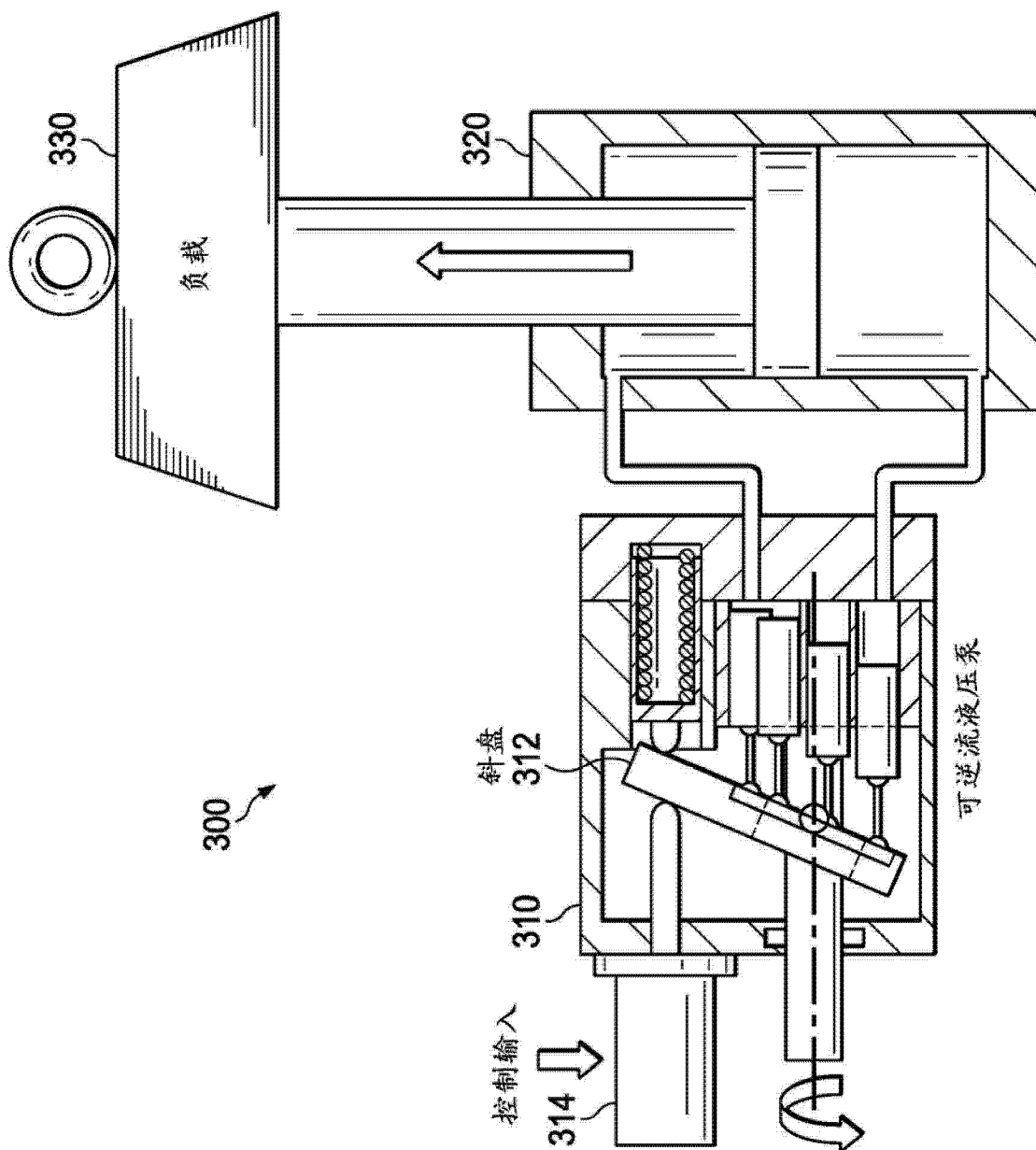


图 7A(现有技术)

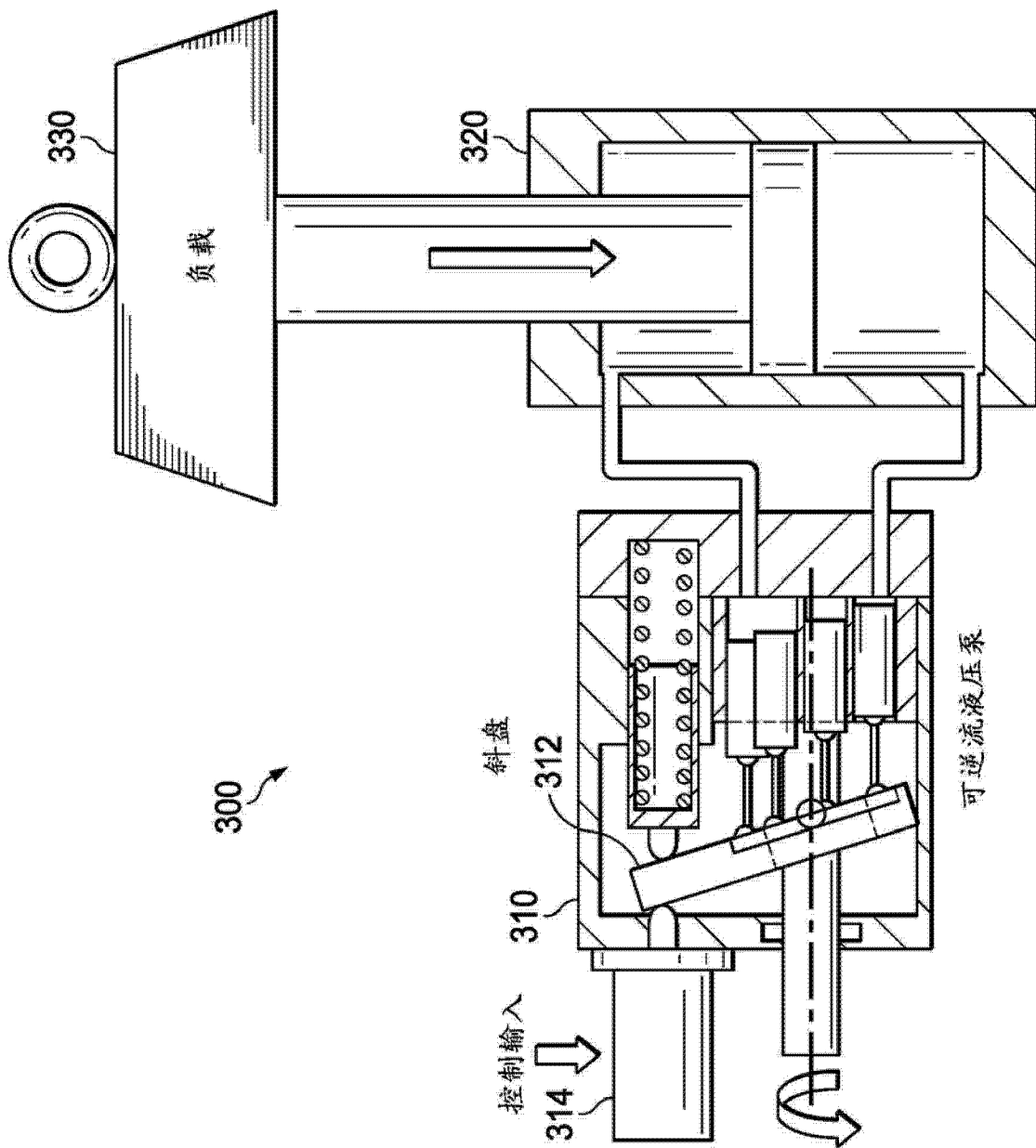


图 7B(现有技术)

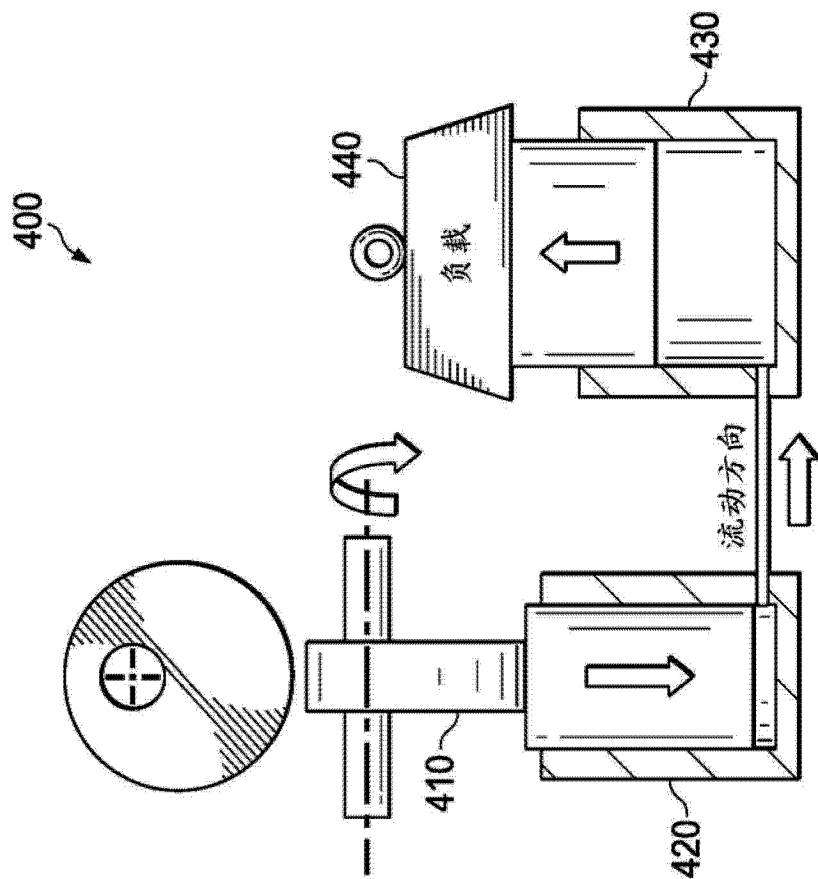


图 8A

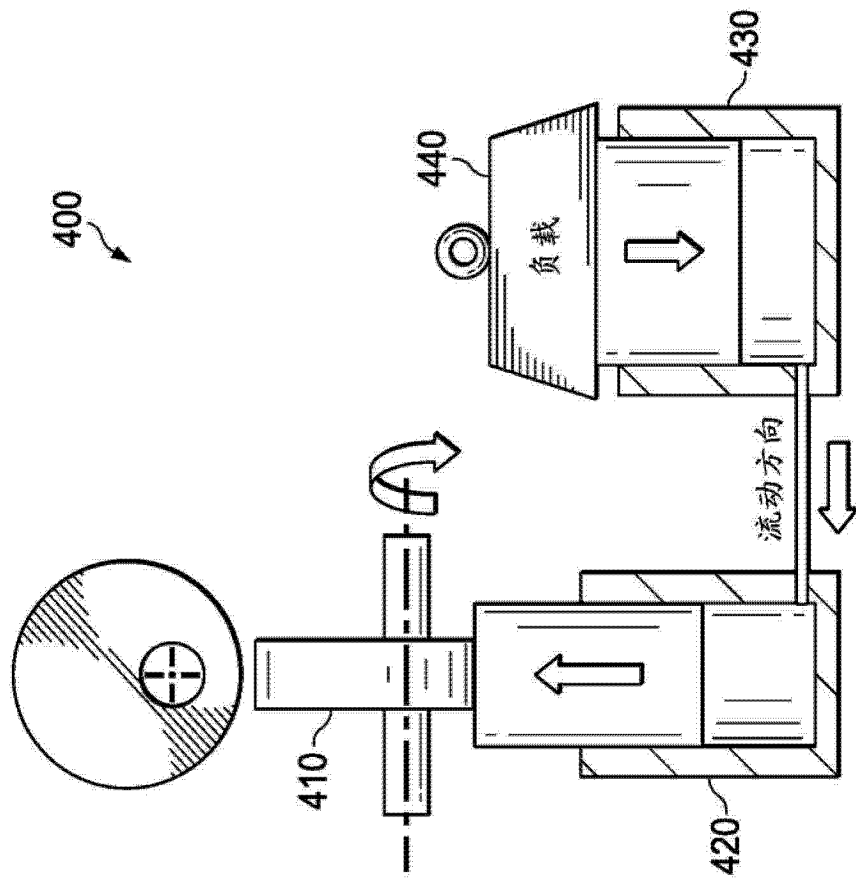


图 8B

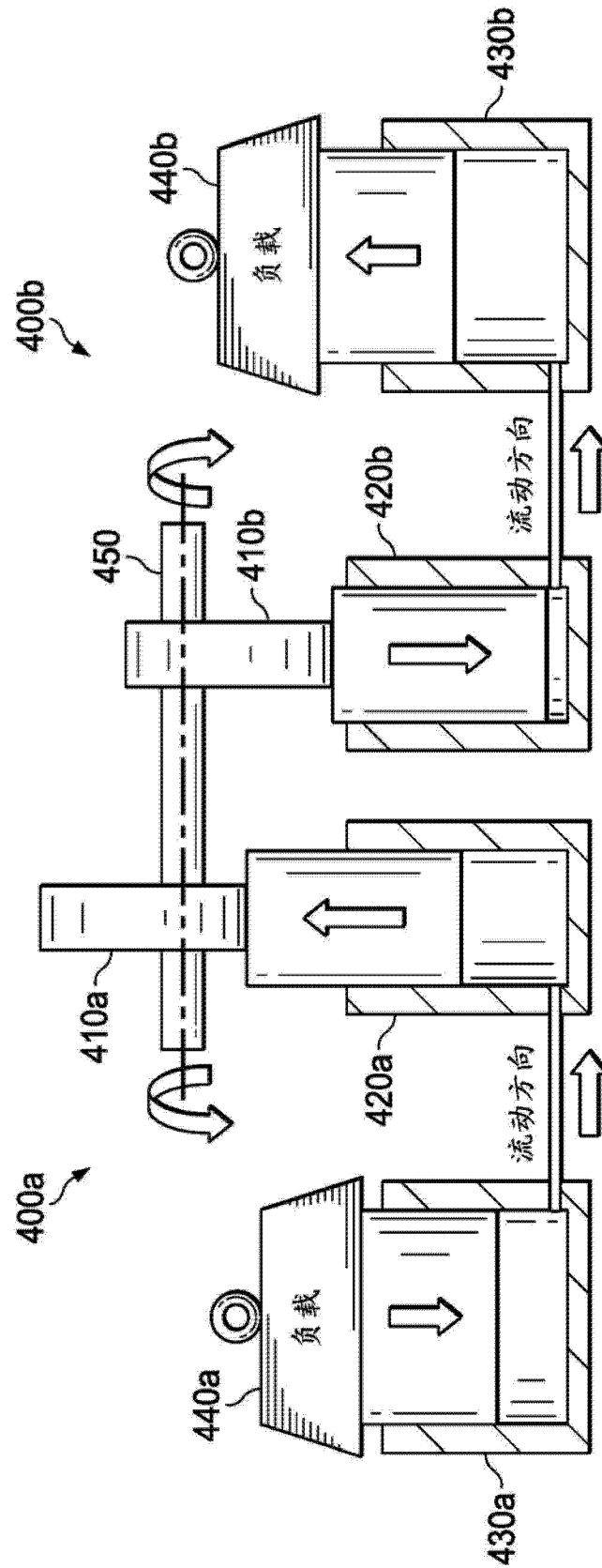


图 8C

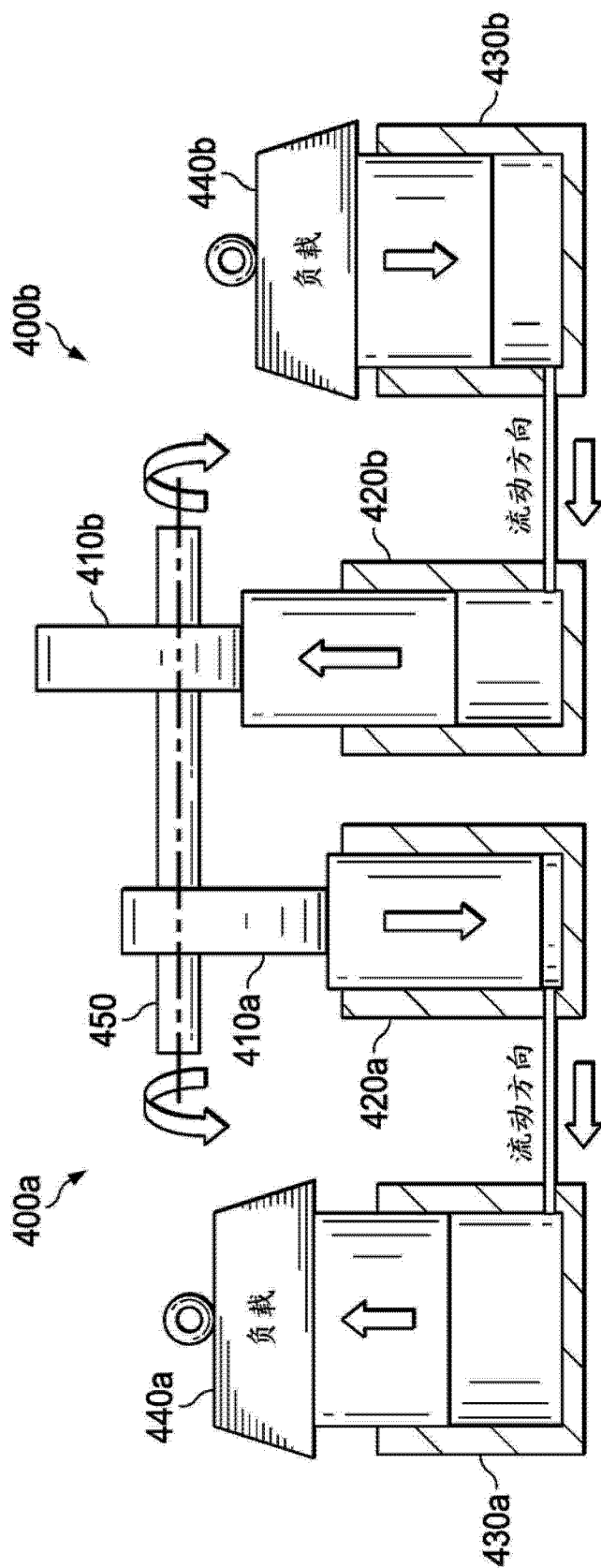


图 8D

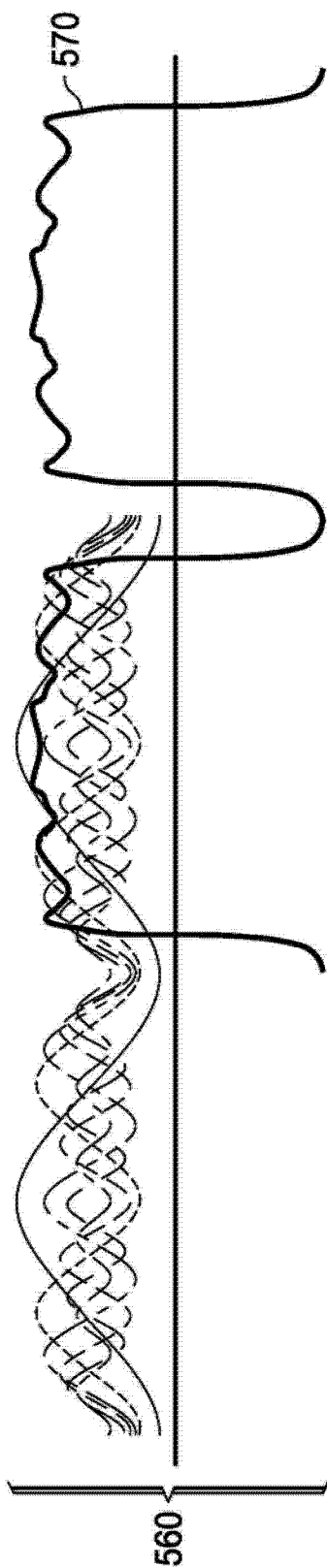


图 9B

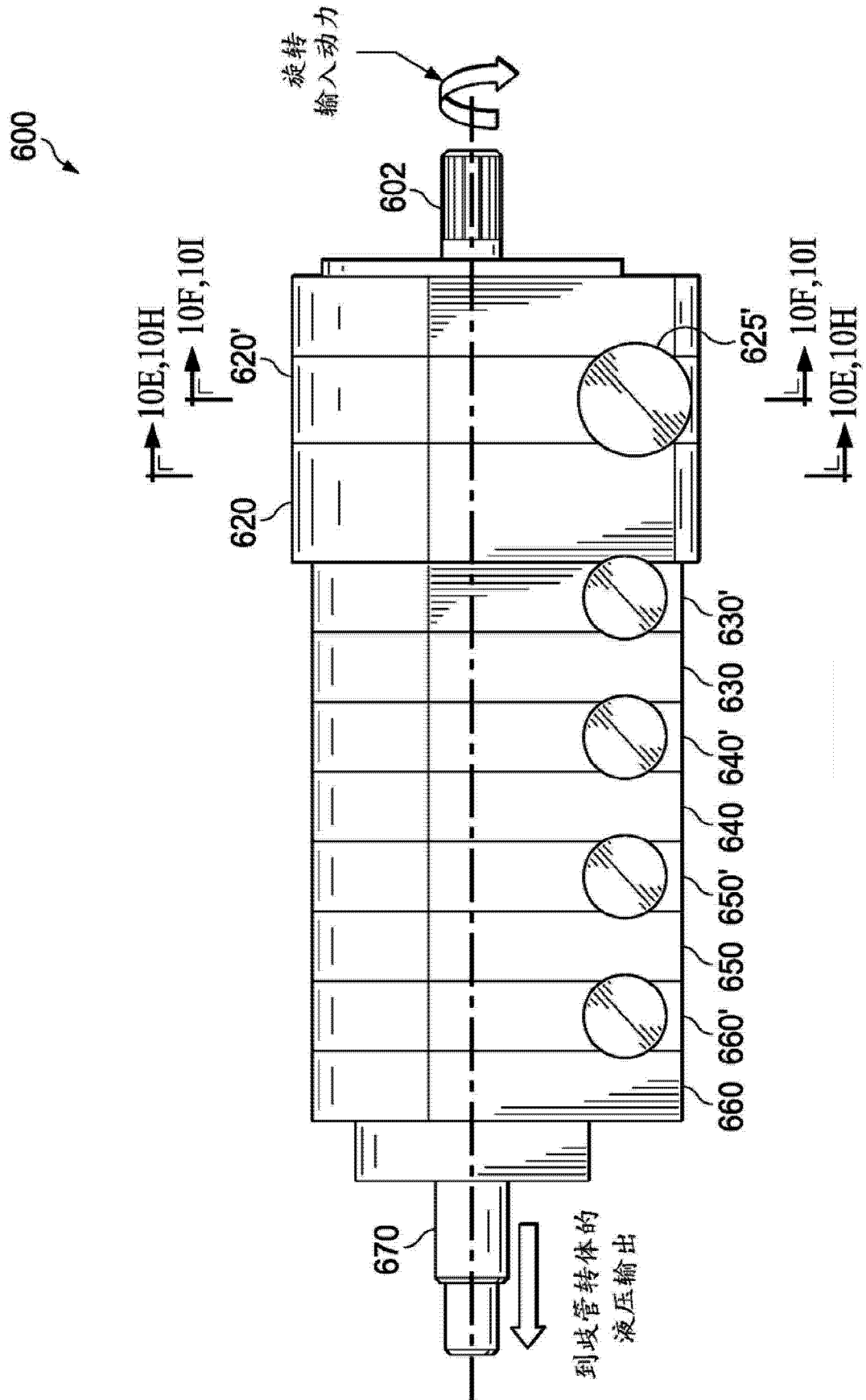


图 10A

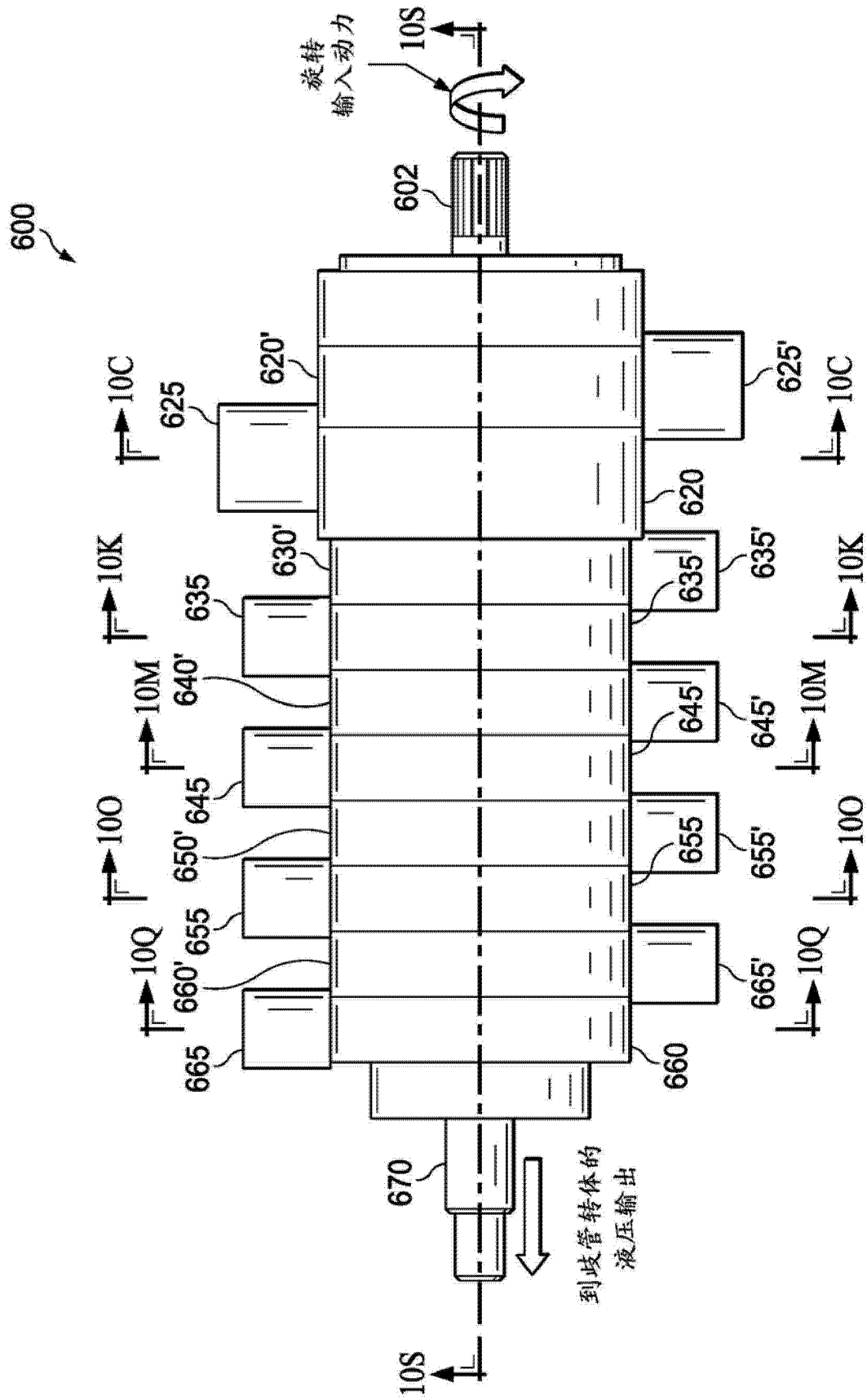


图 10B

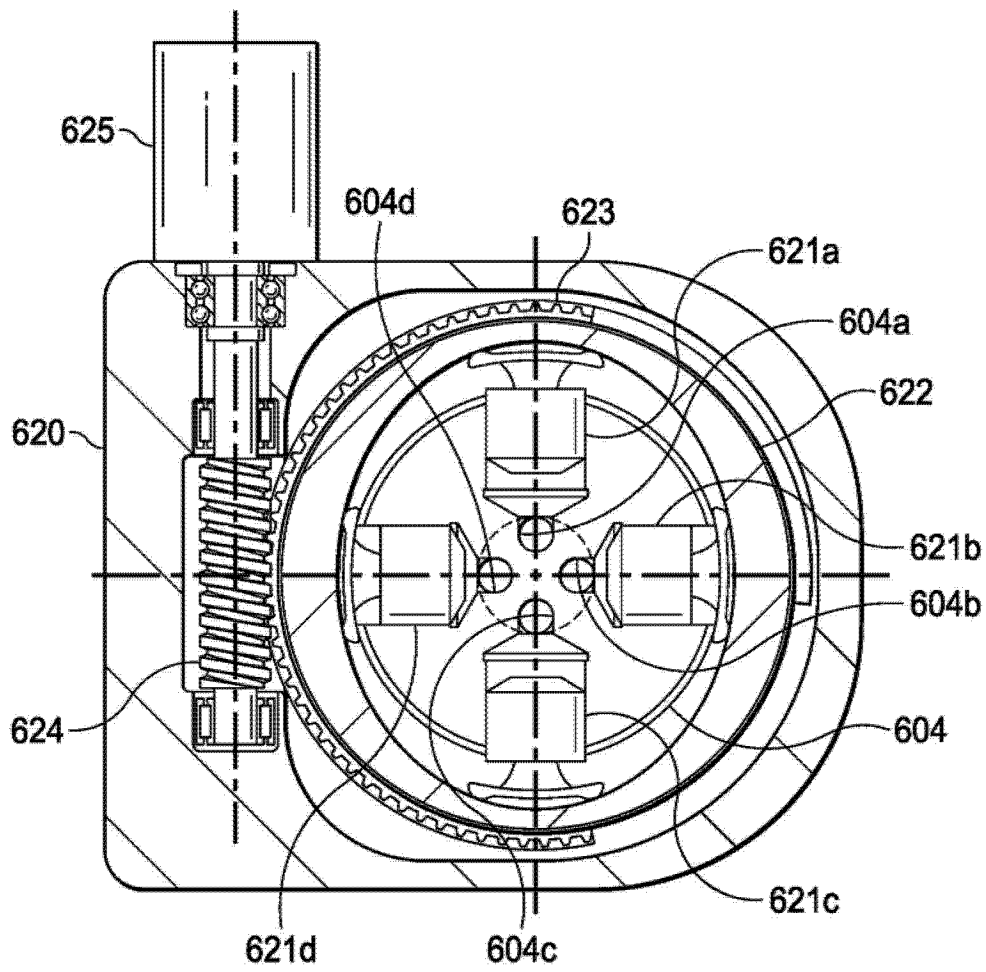


图 10C

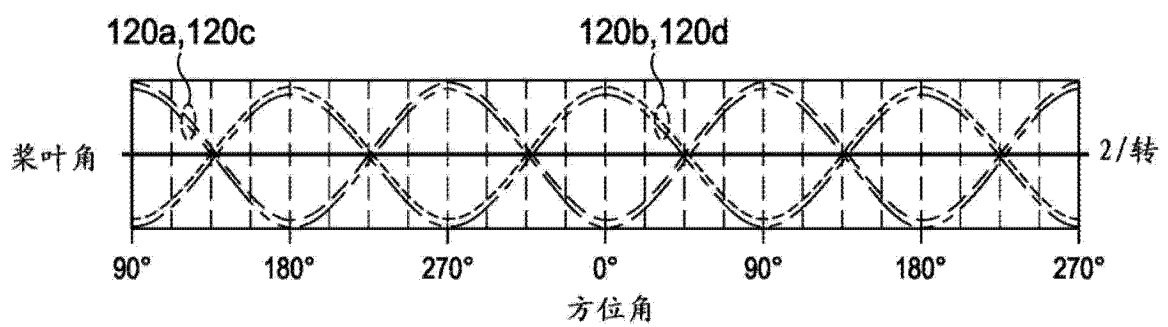


图 10D

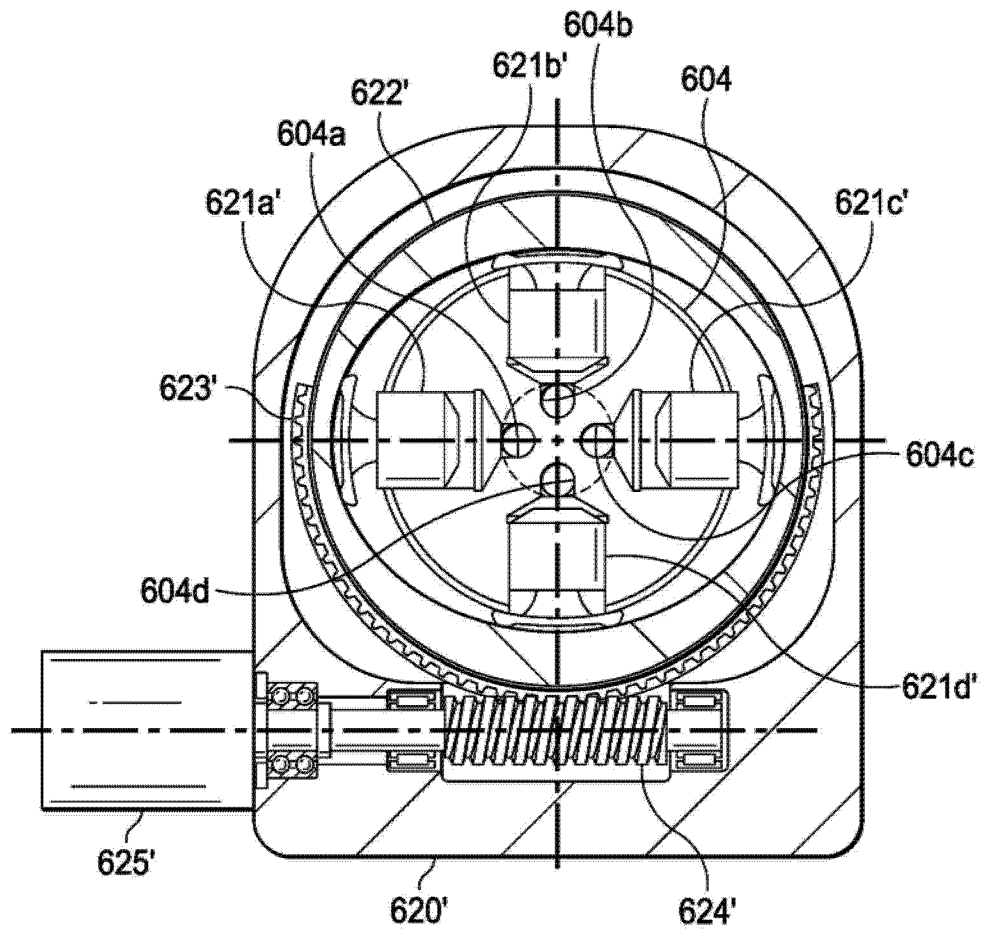


图 10F

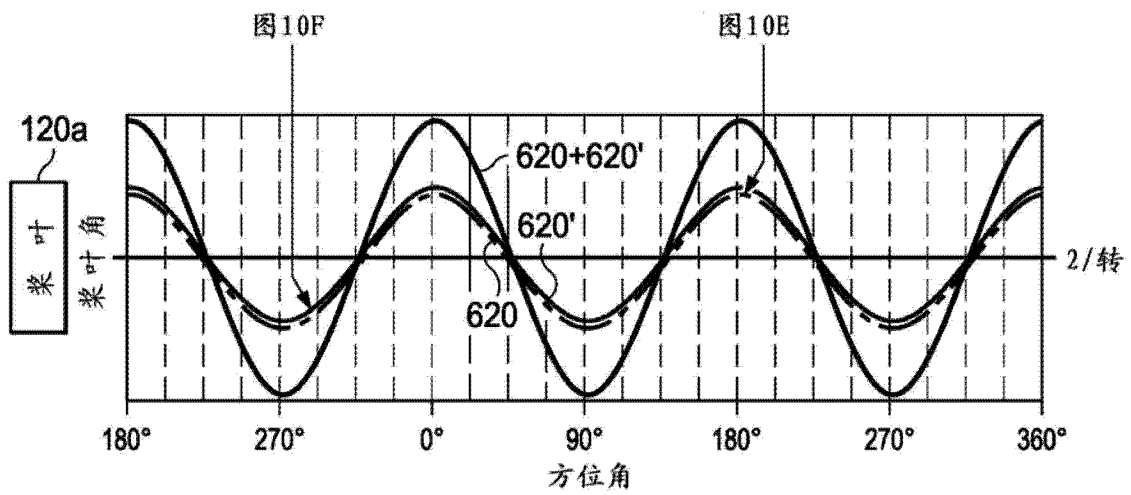


图 10G

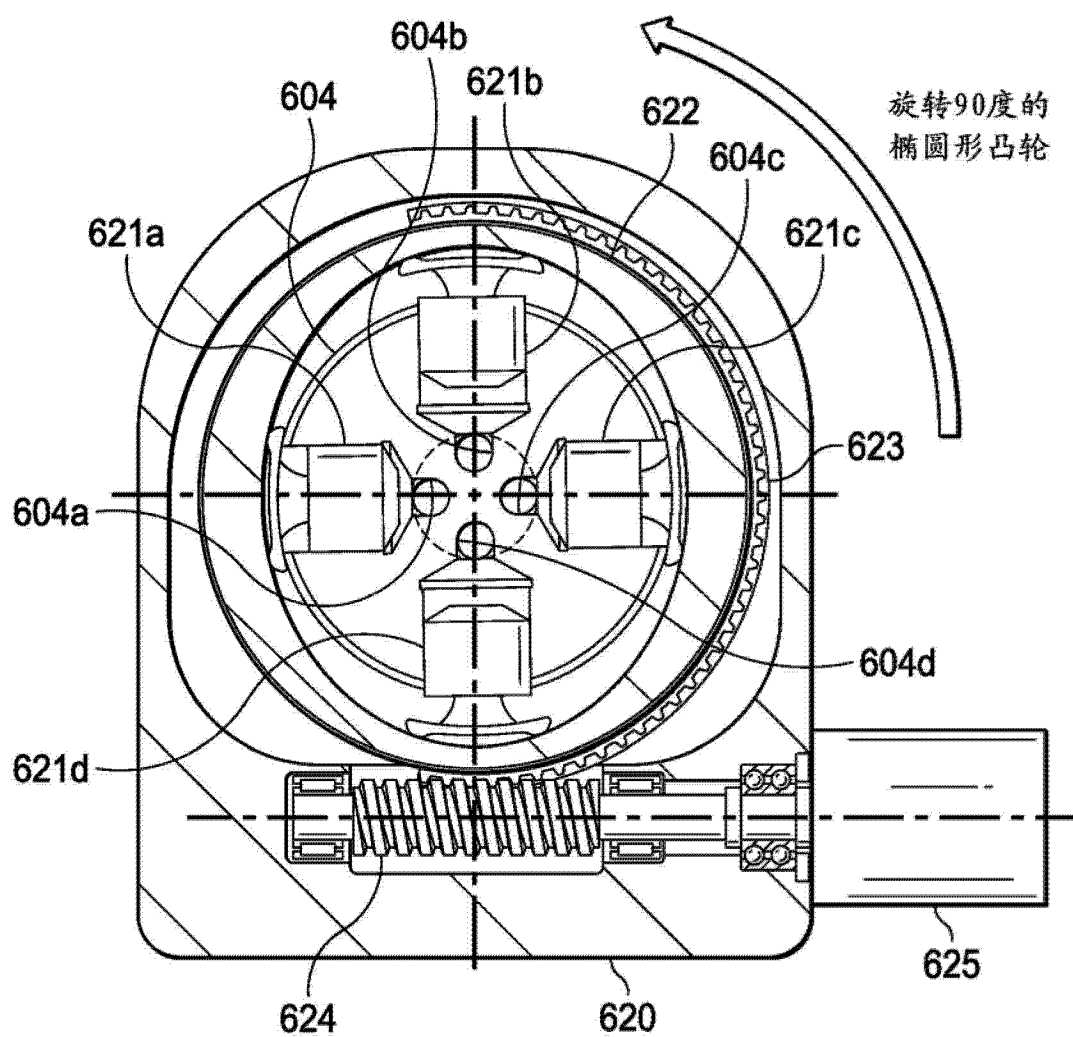


图 10H

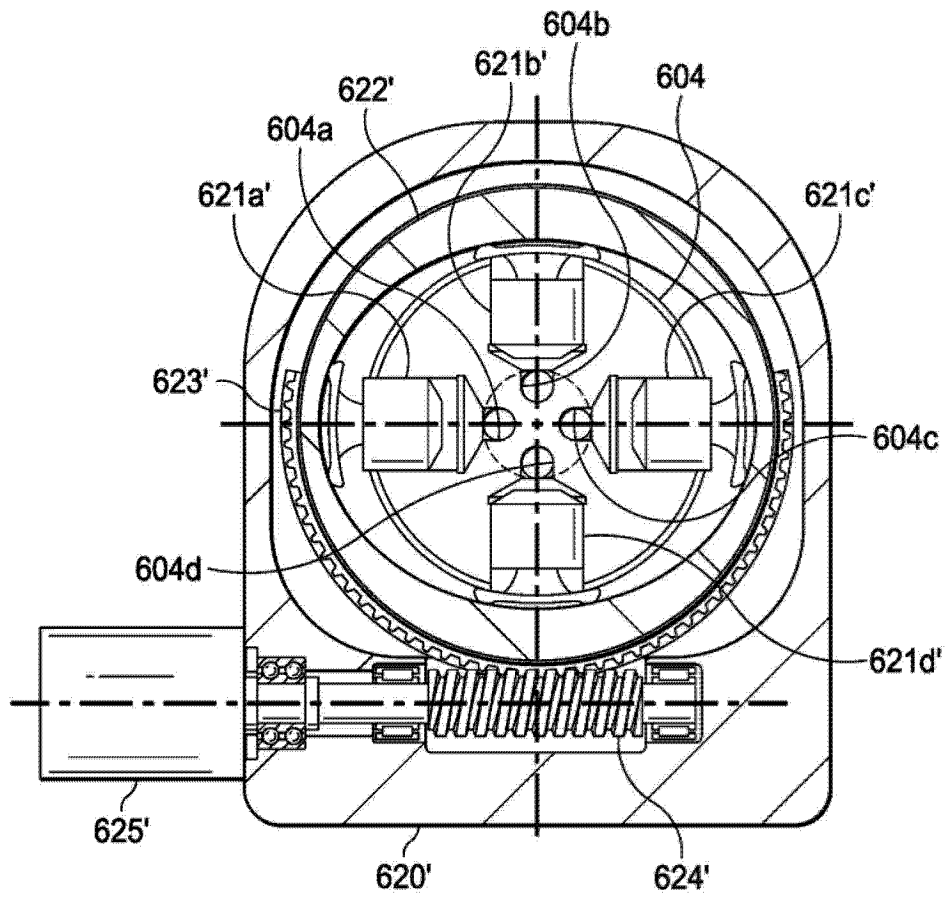


图 10I

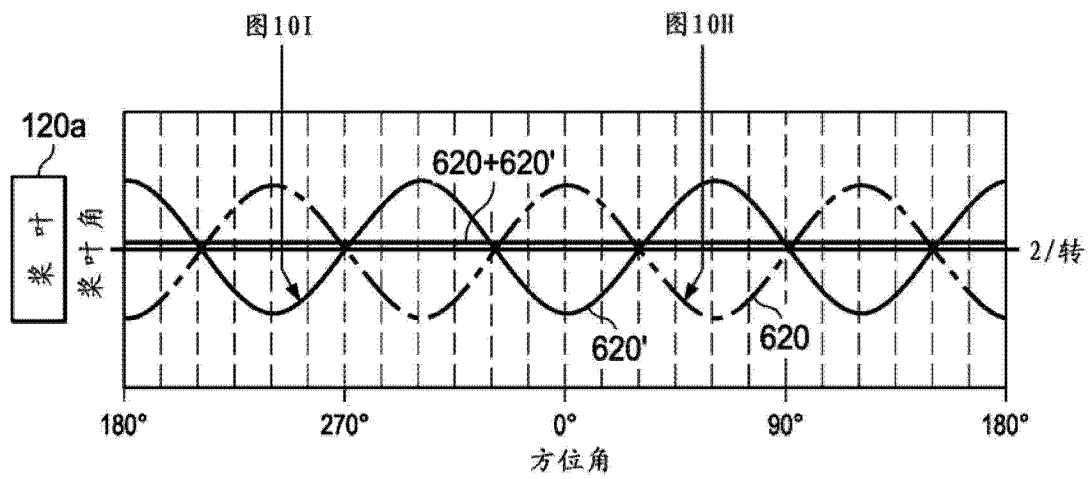


图 10J

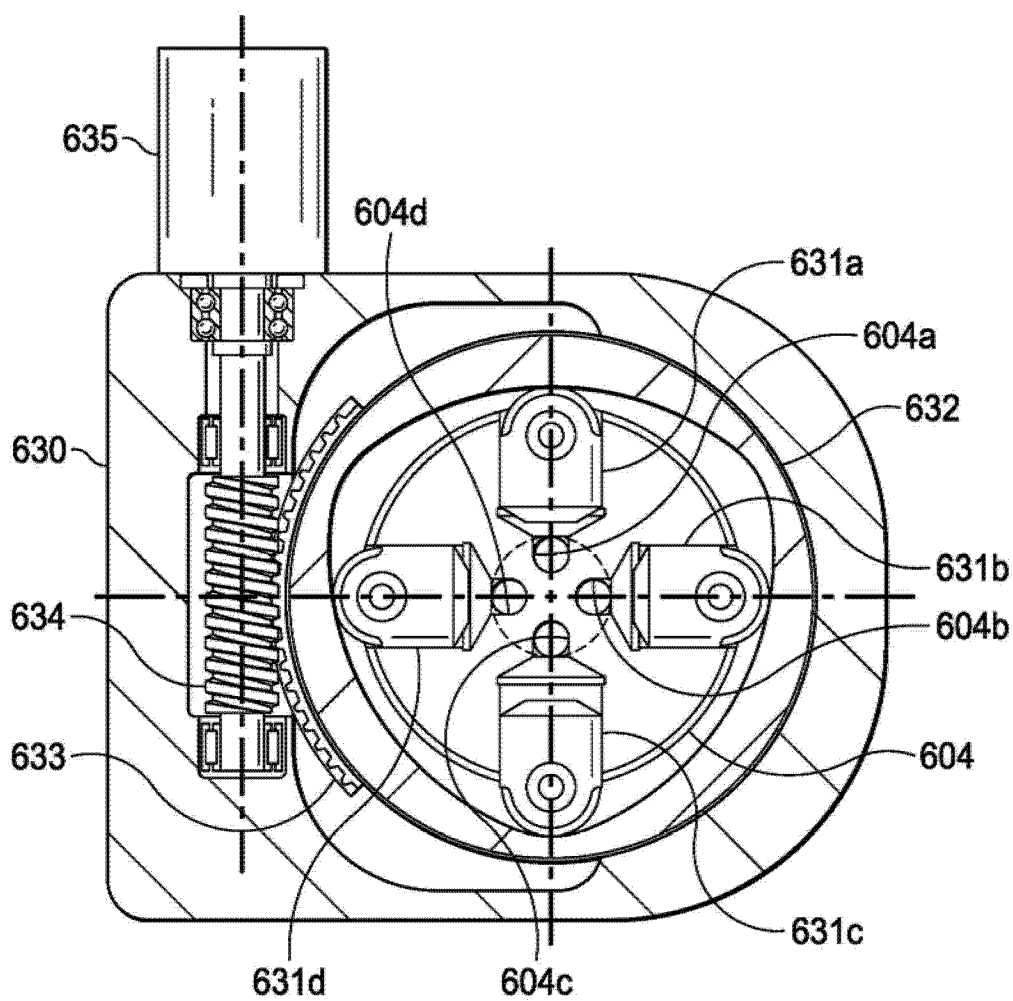


图 10K

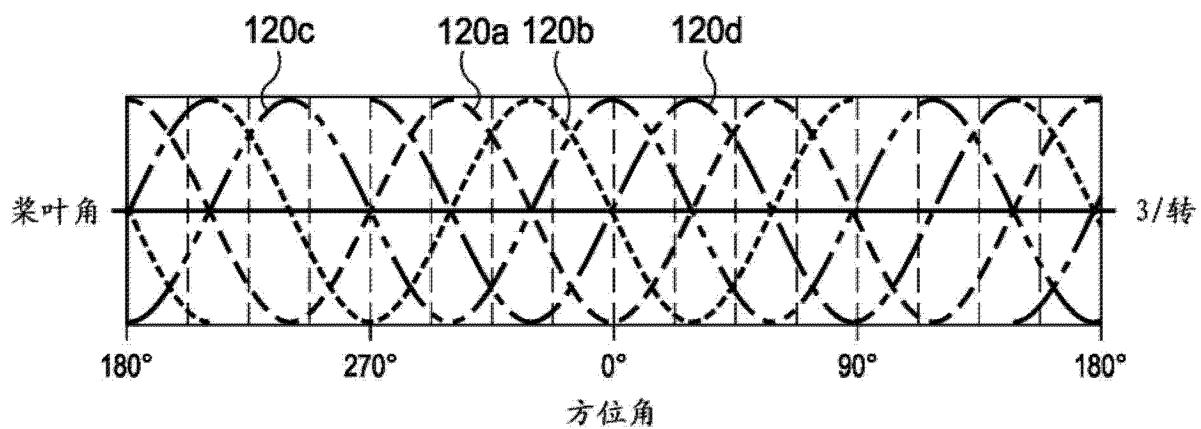


图 10L

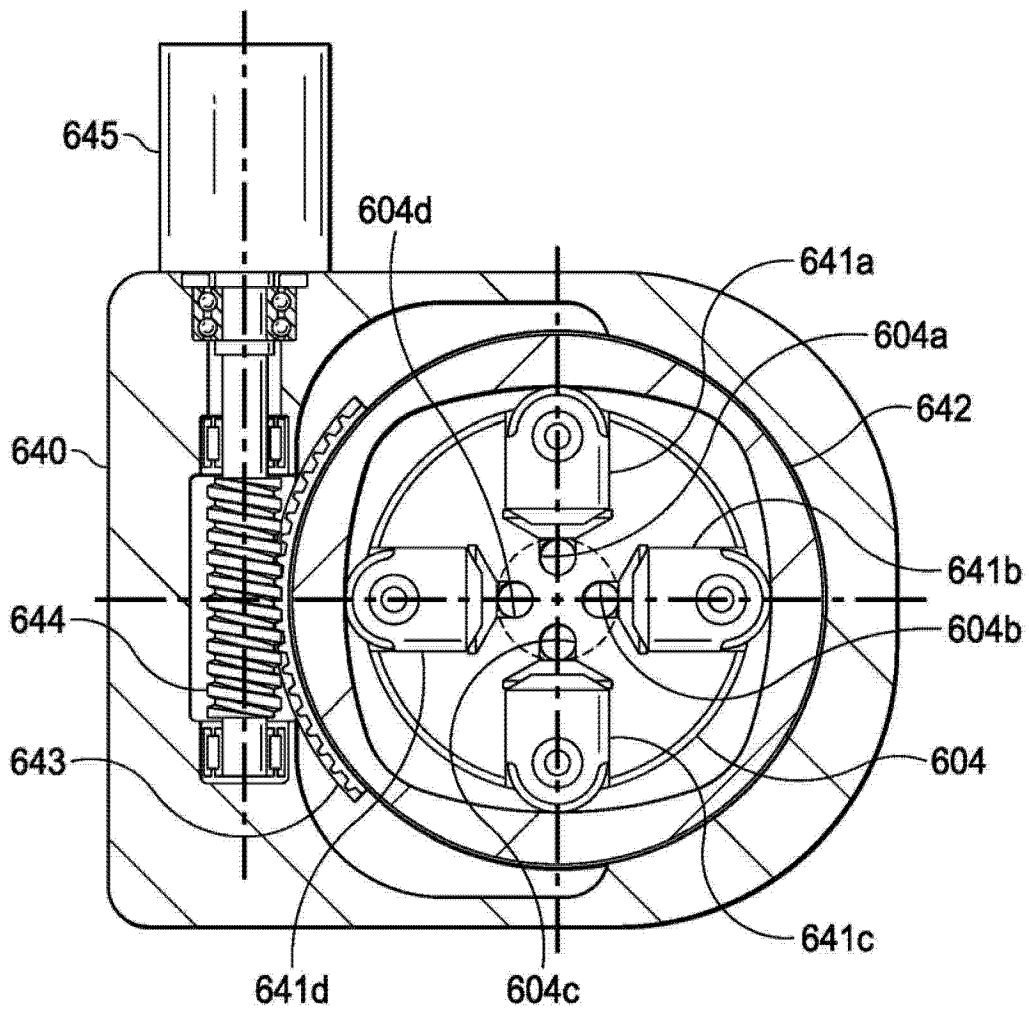


图 10M

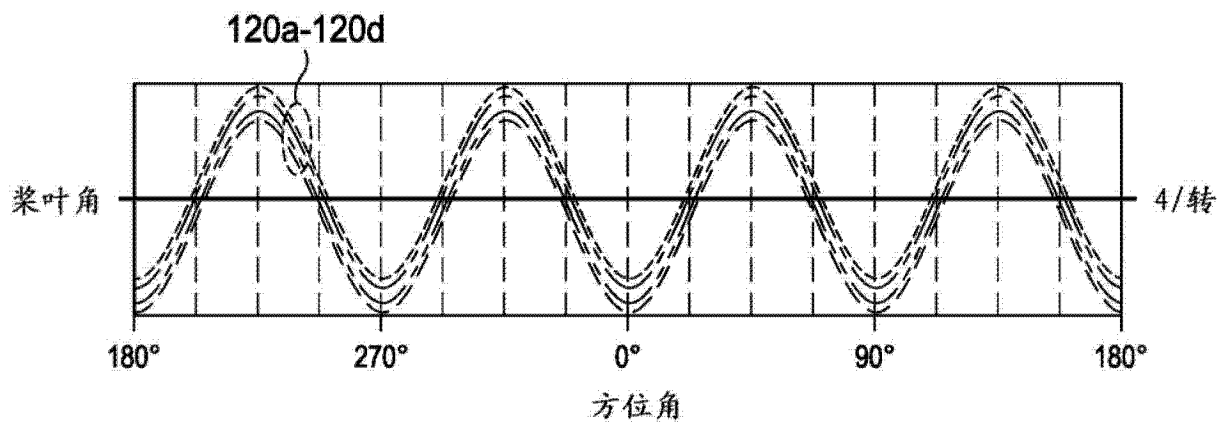


图 10N

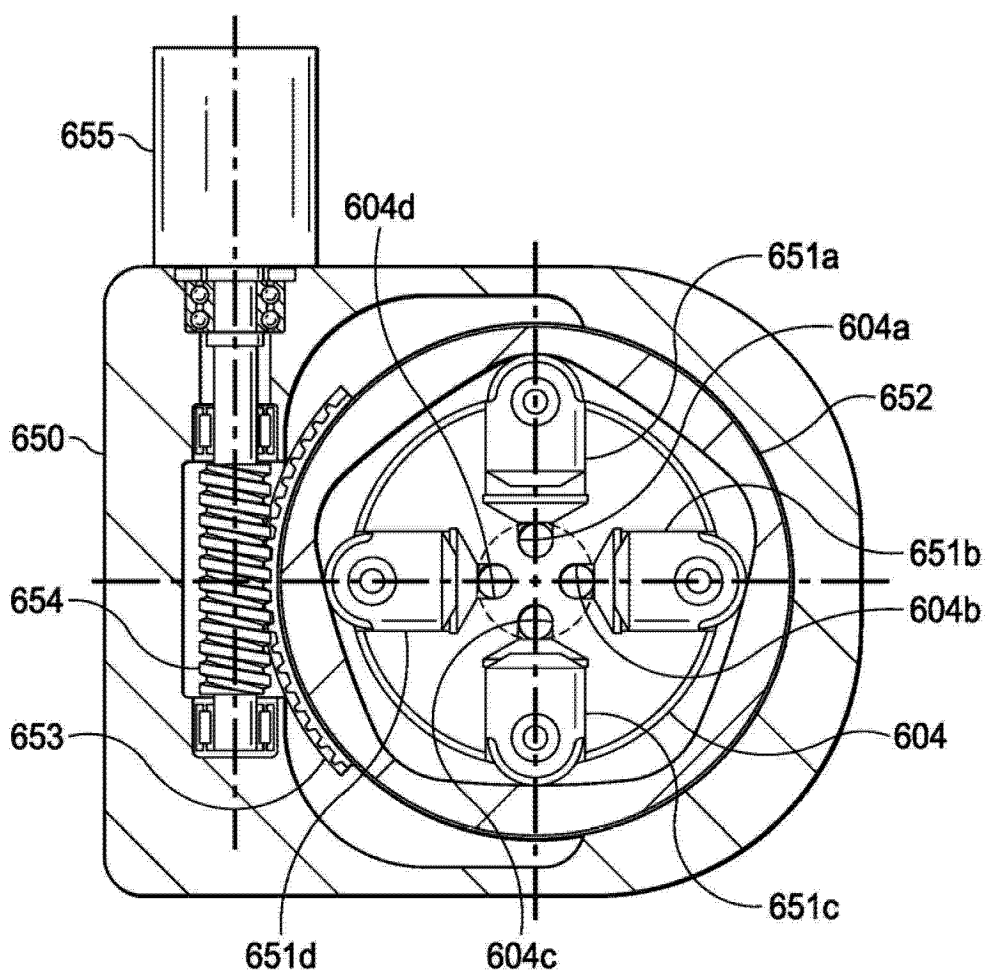


图 100

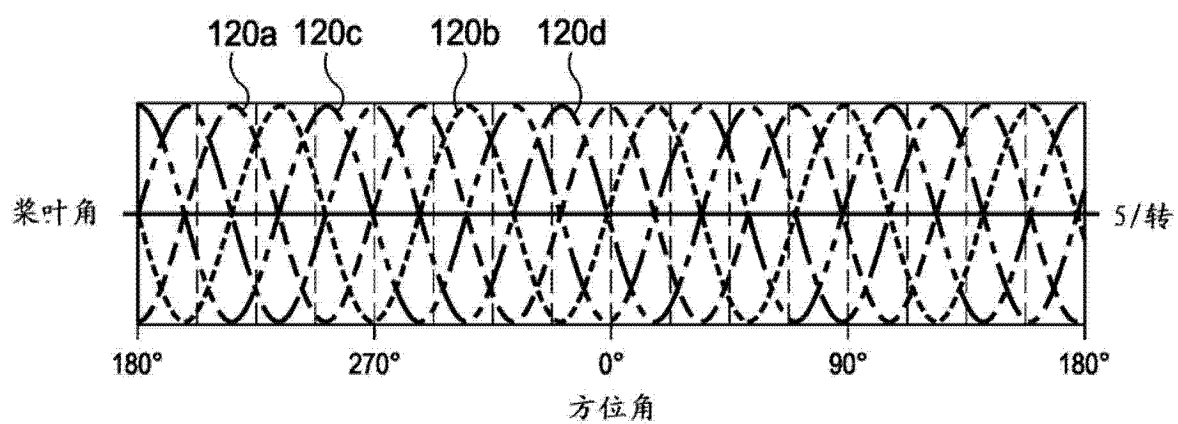


图 10P

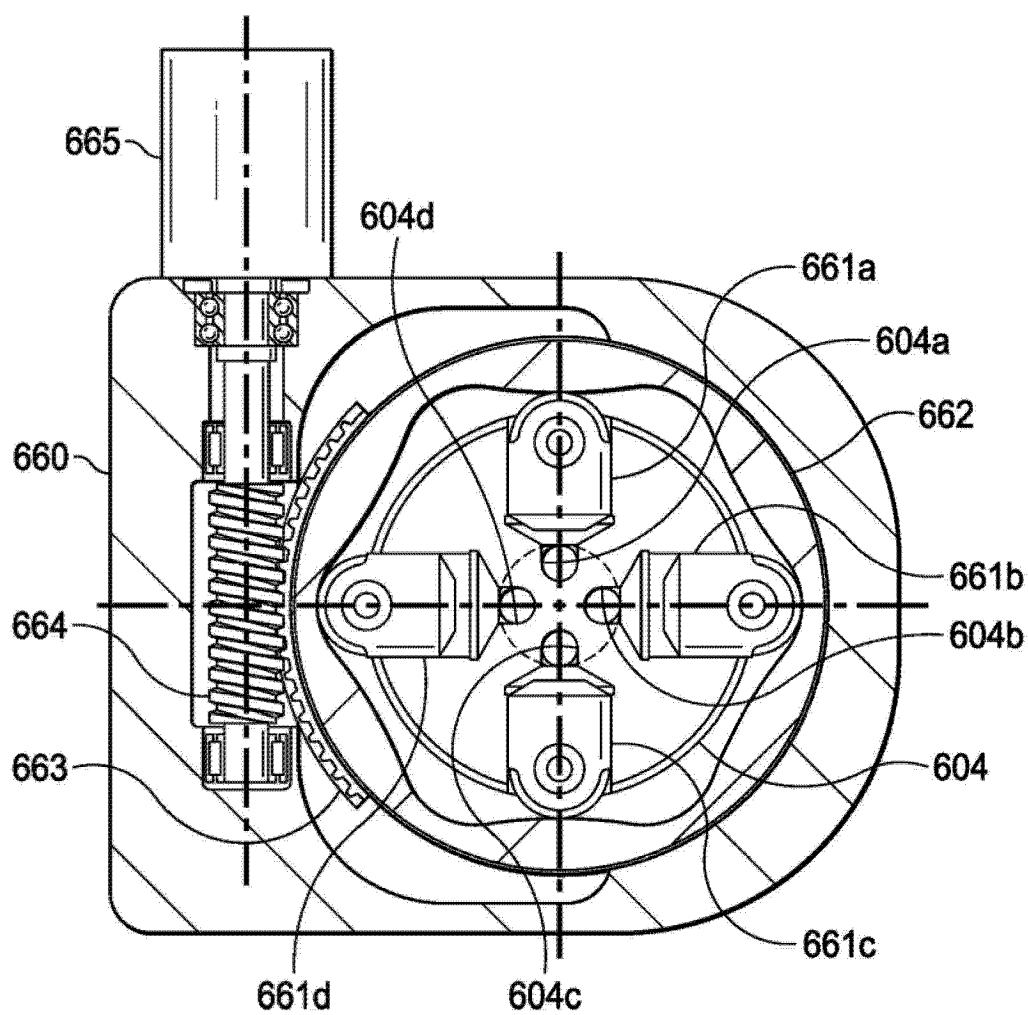


图 10Q

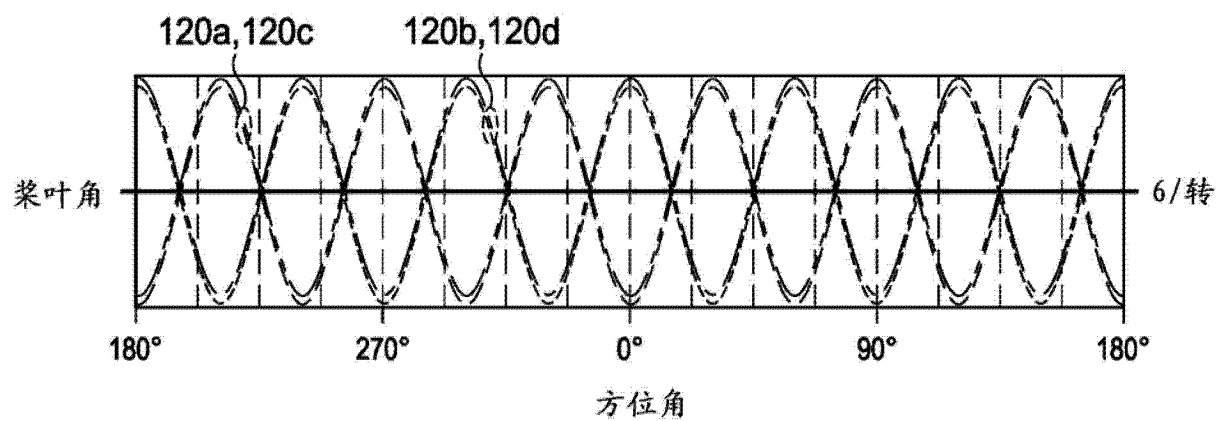


图 10R

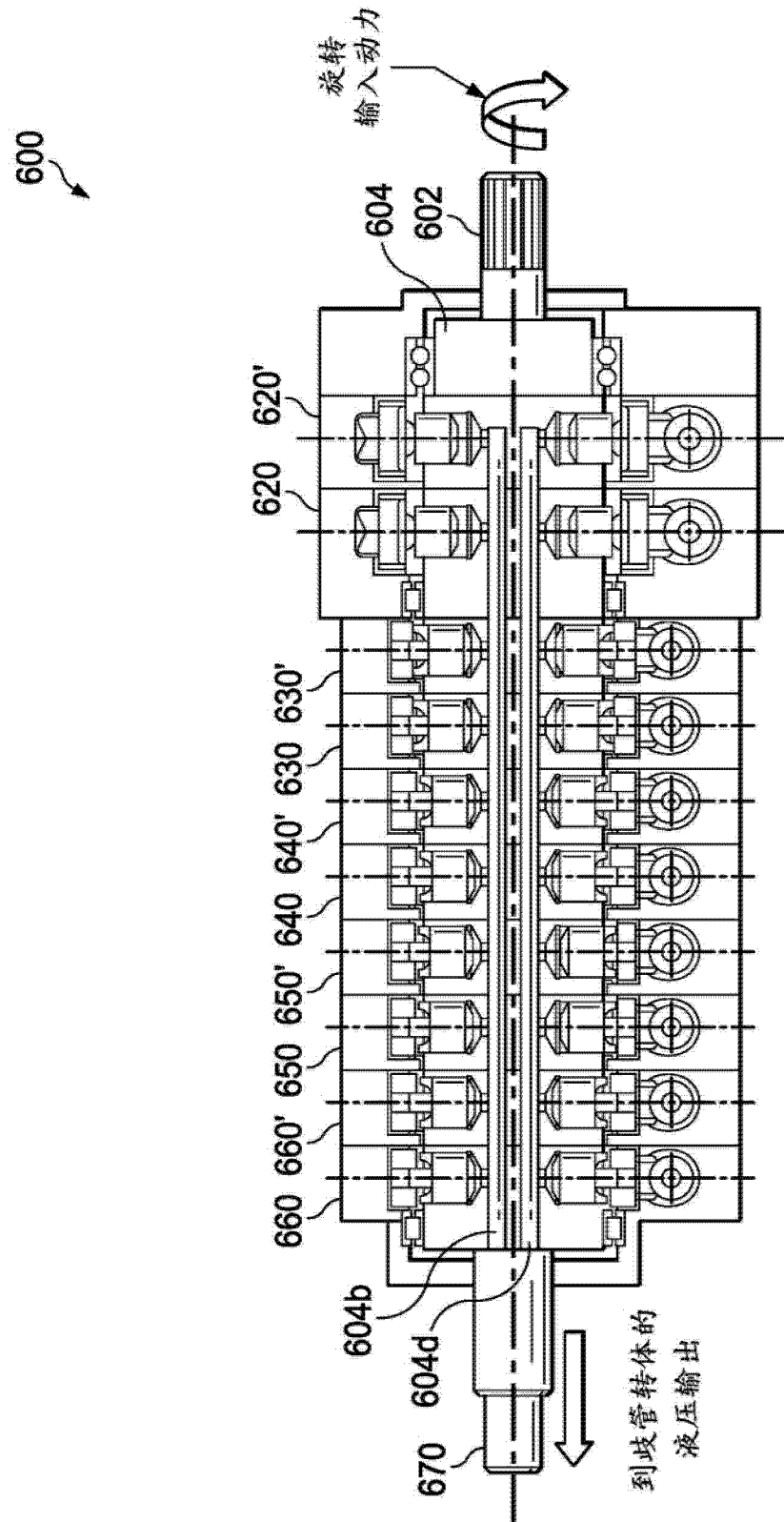


图 10S

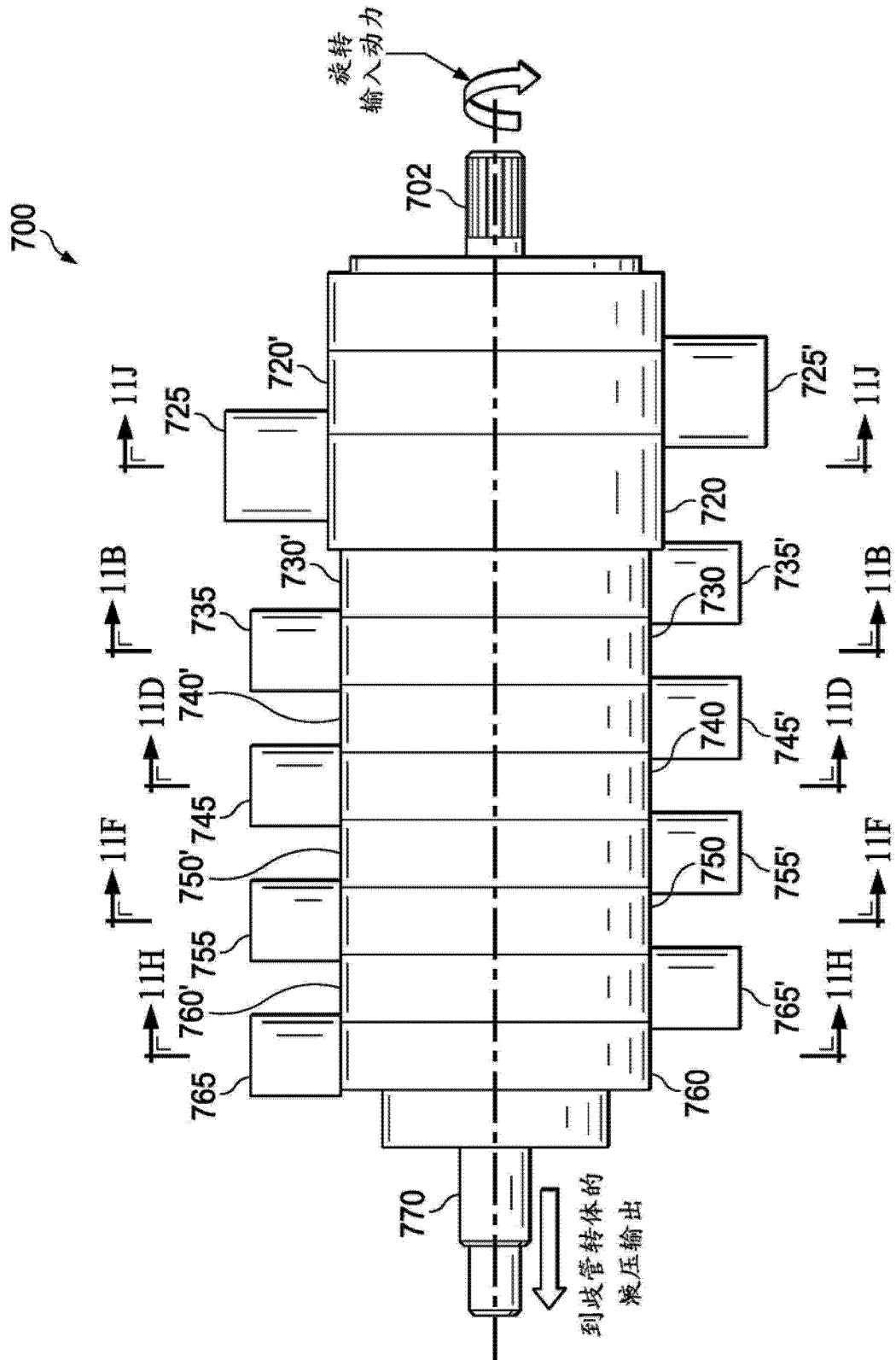


图 11A

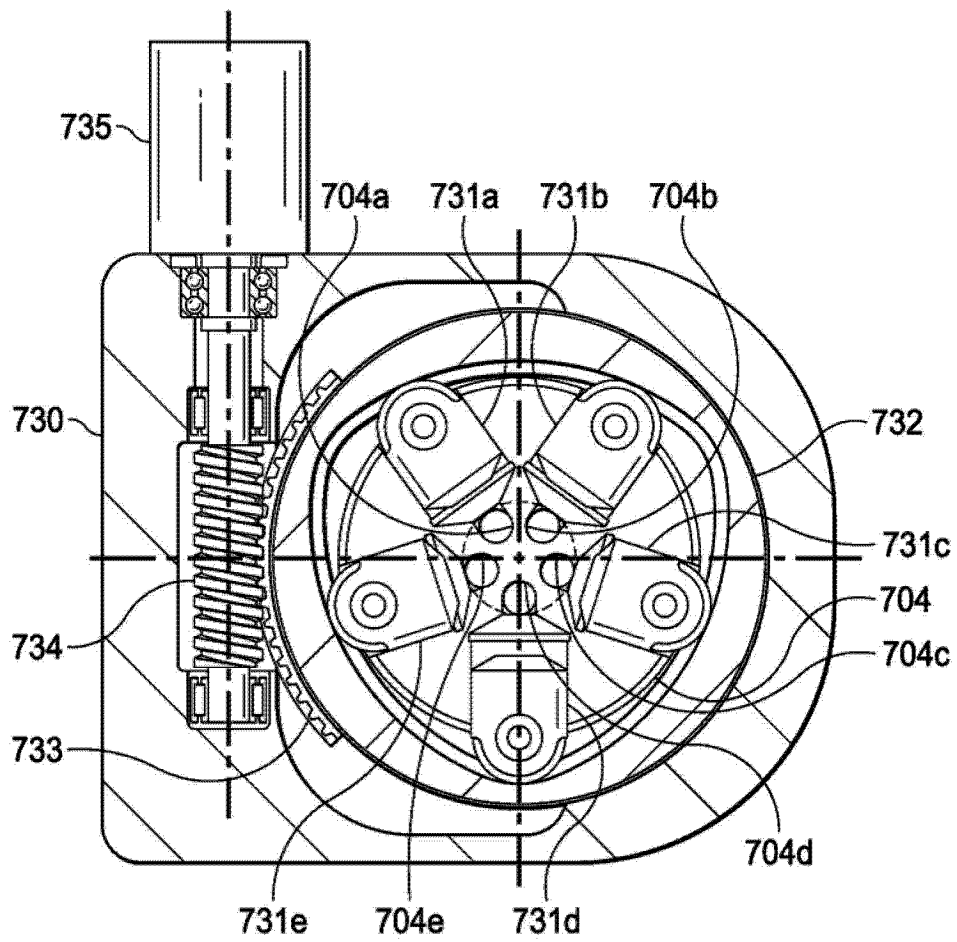


图 11B

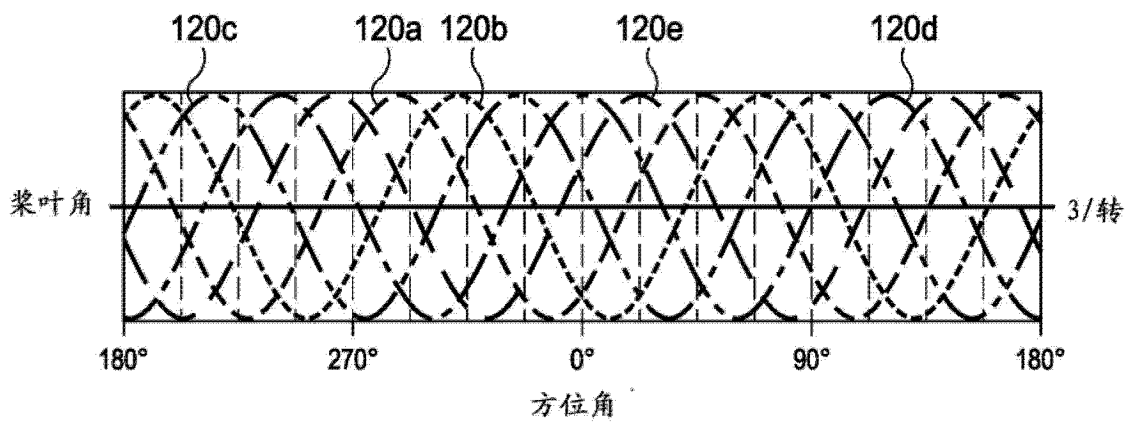


图 11C

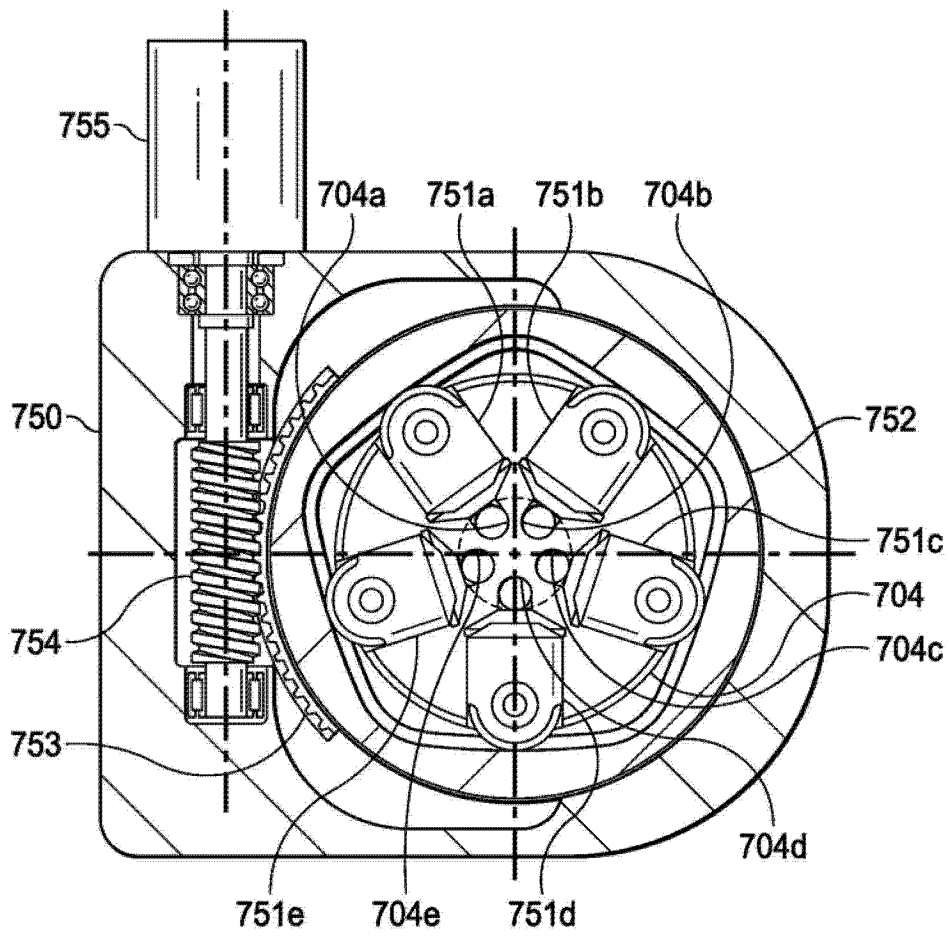


图 11F

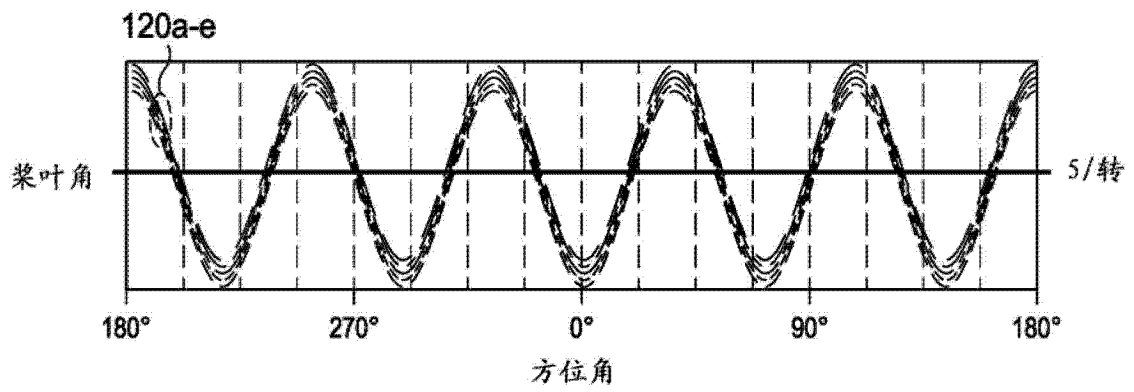


图 11G

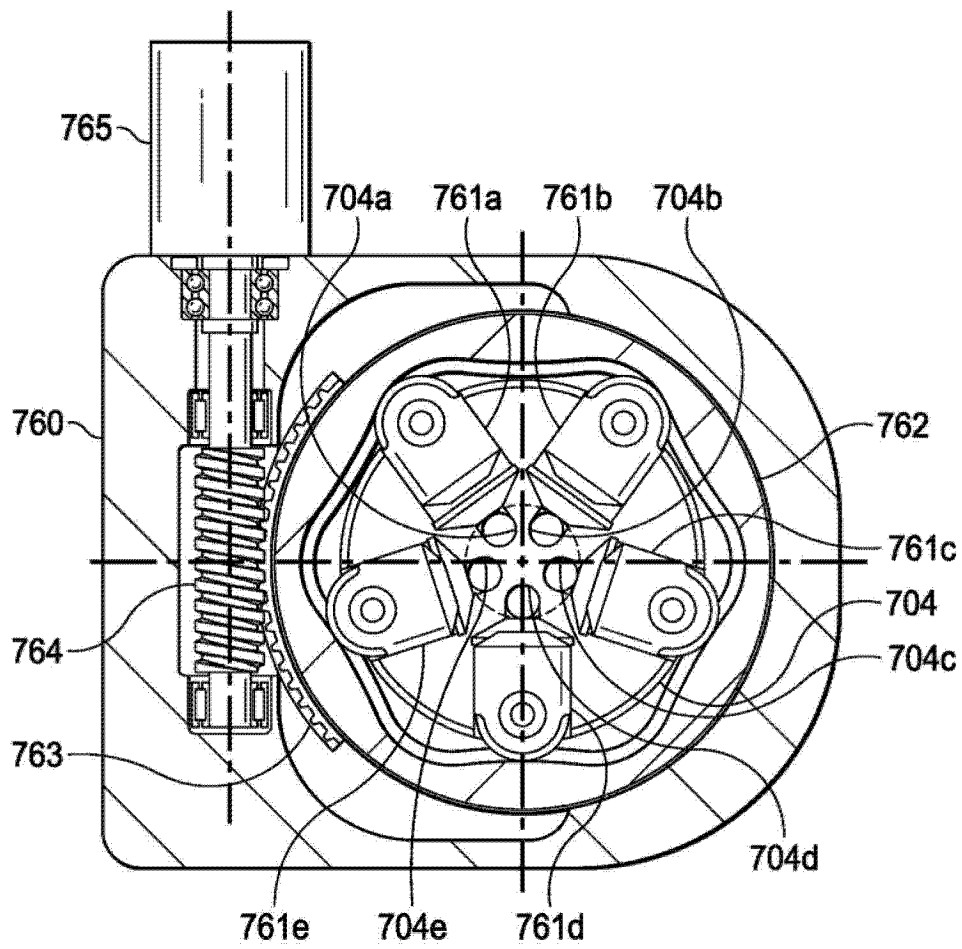


图 11H

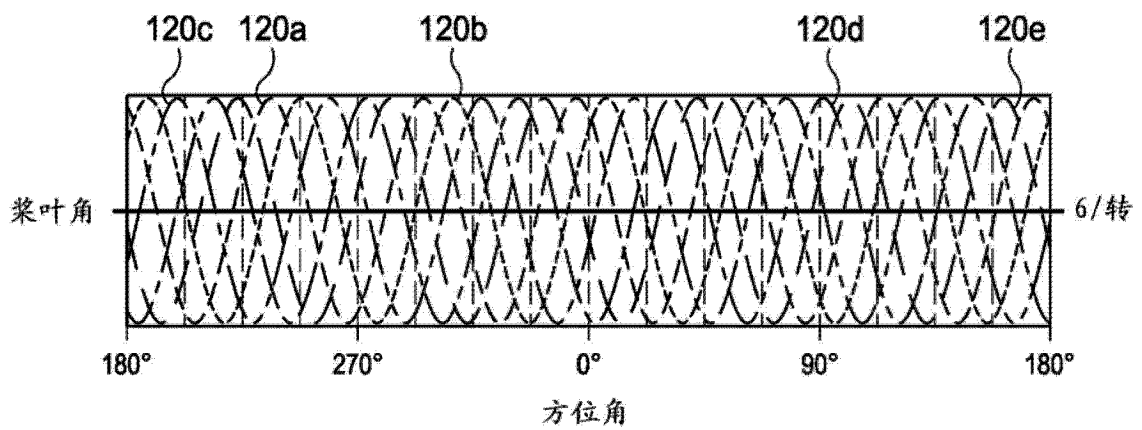


图 11I

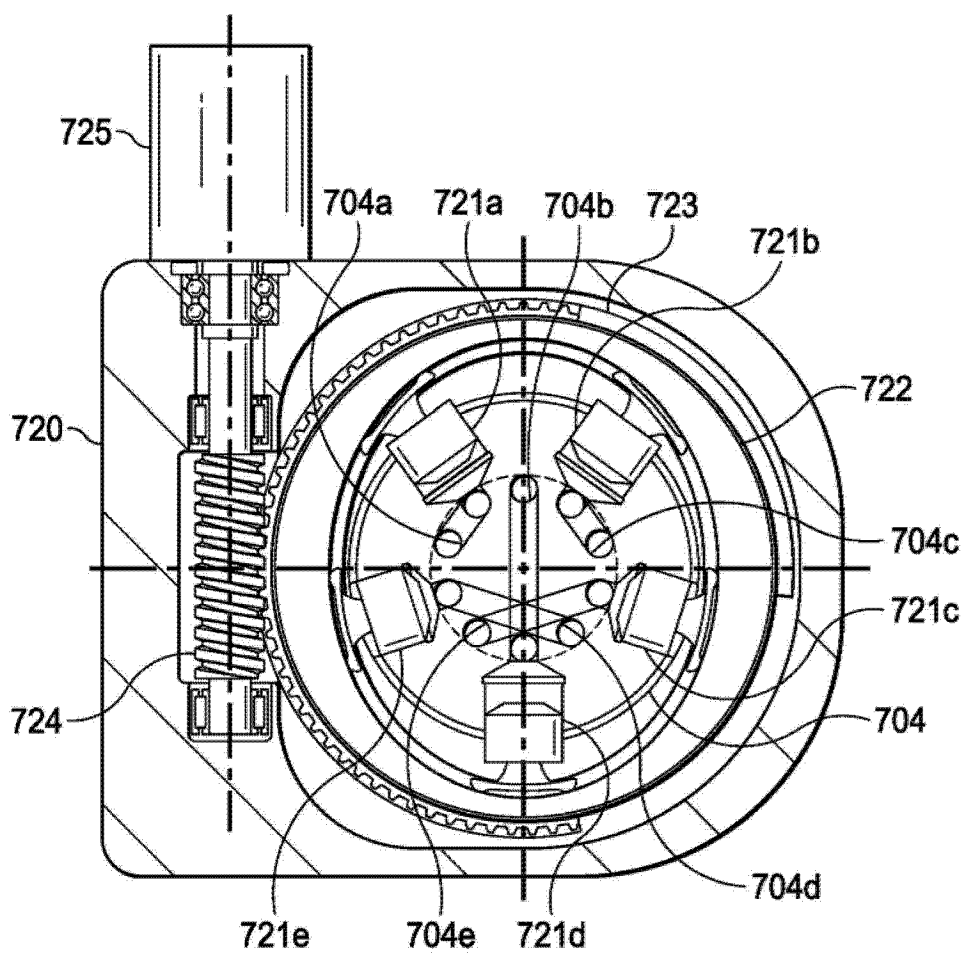


图 11J

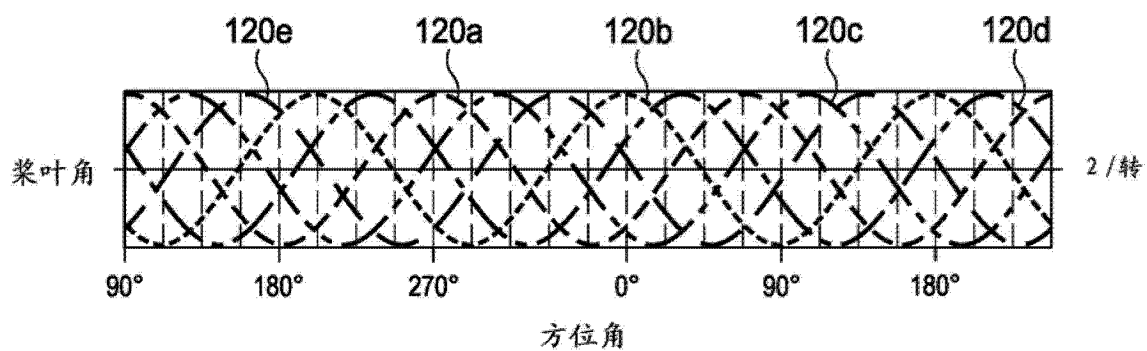


图 11K

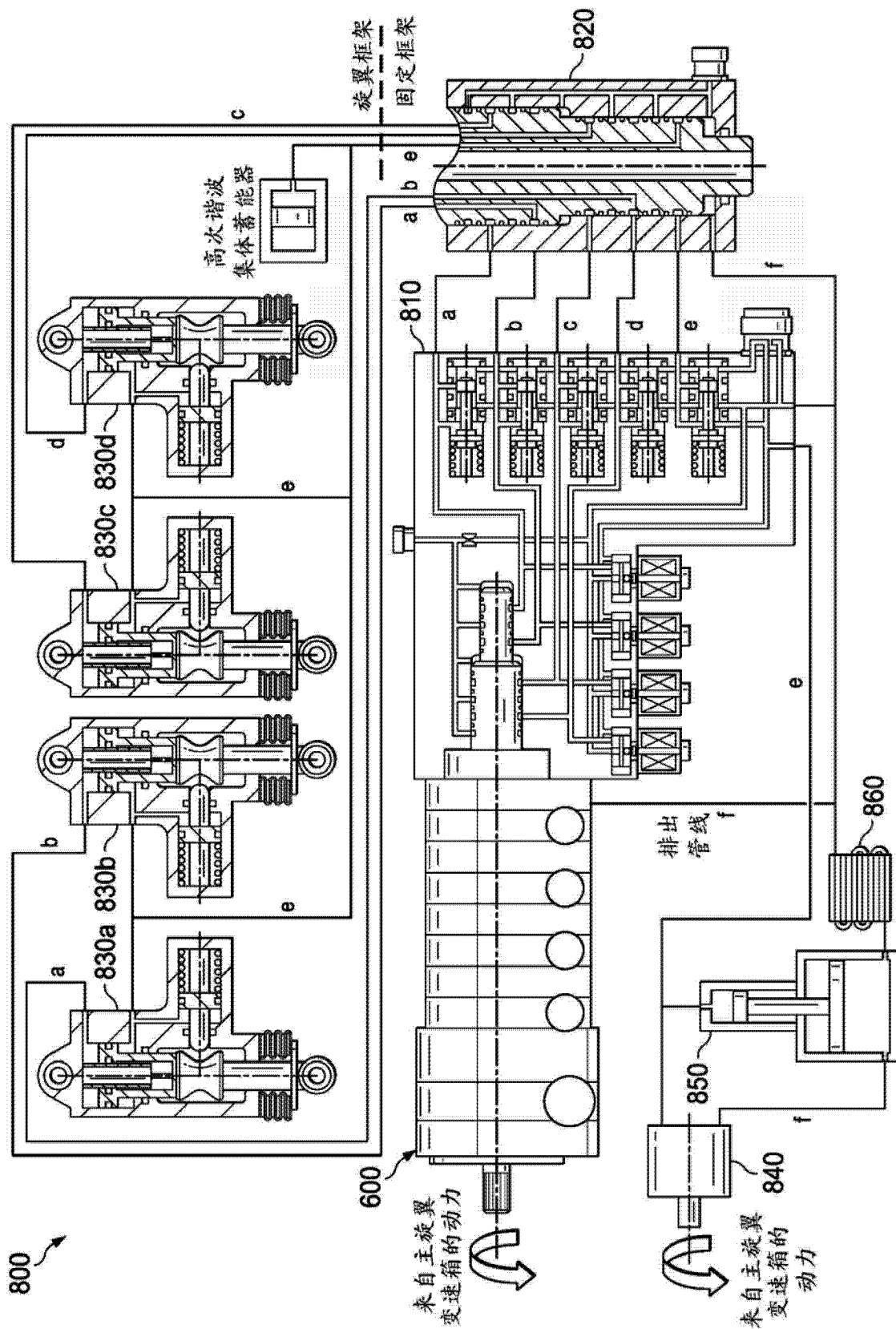


图 12A

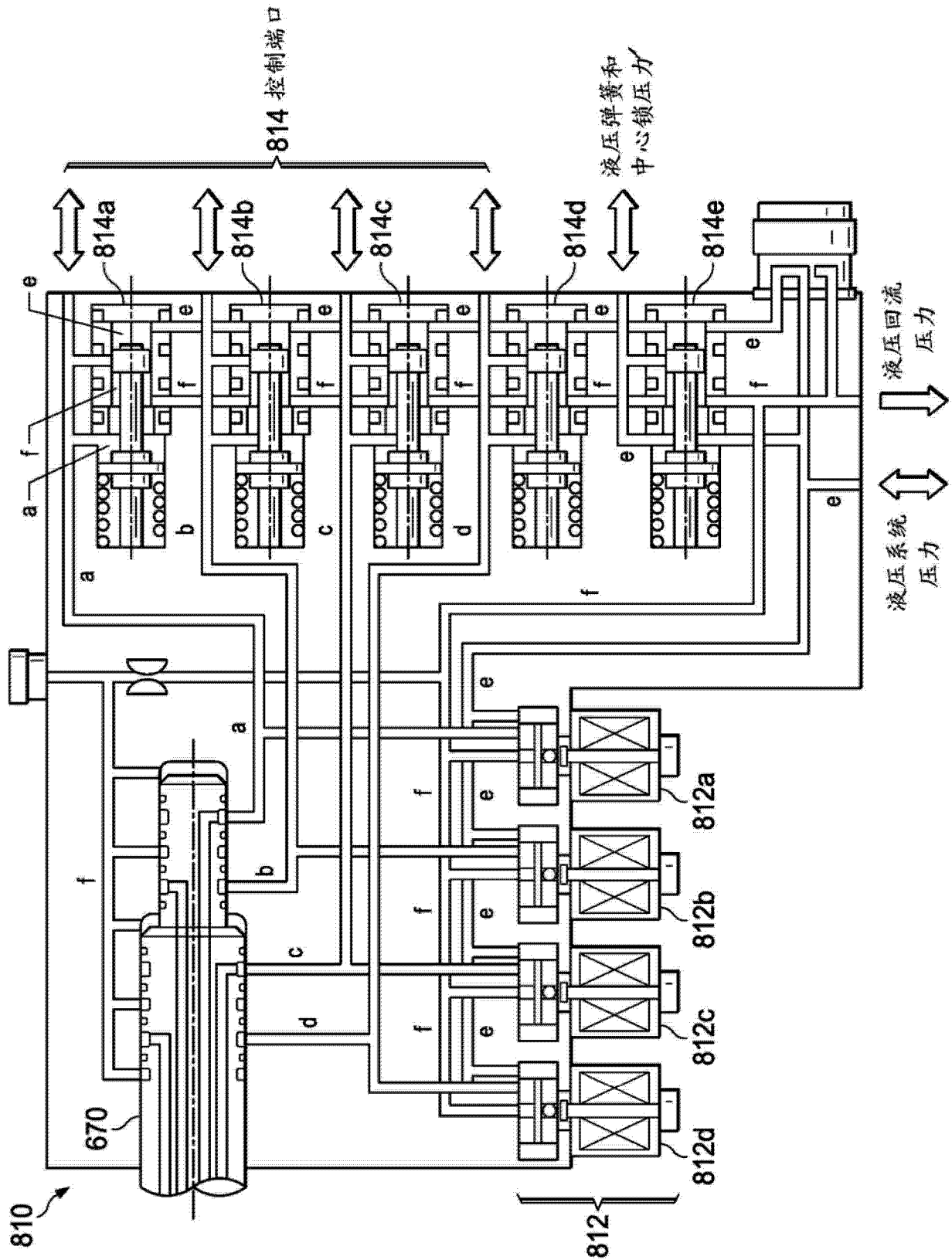


图 12B

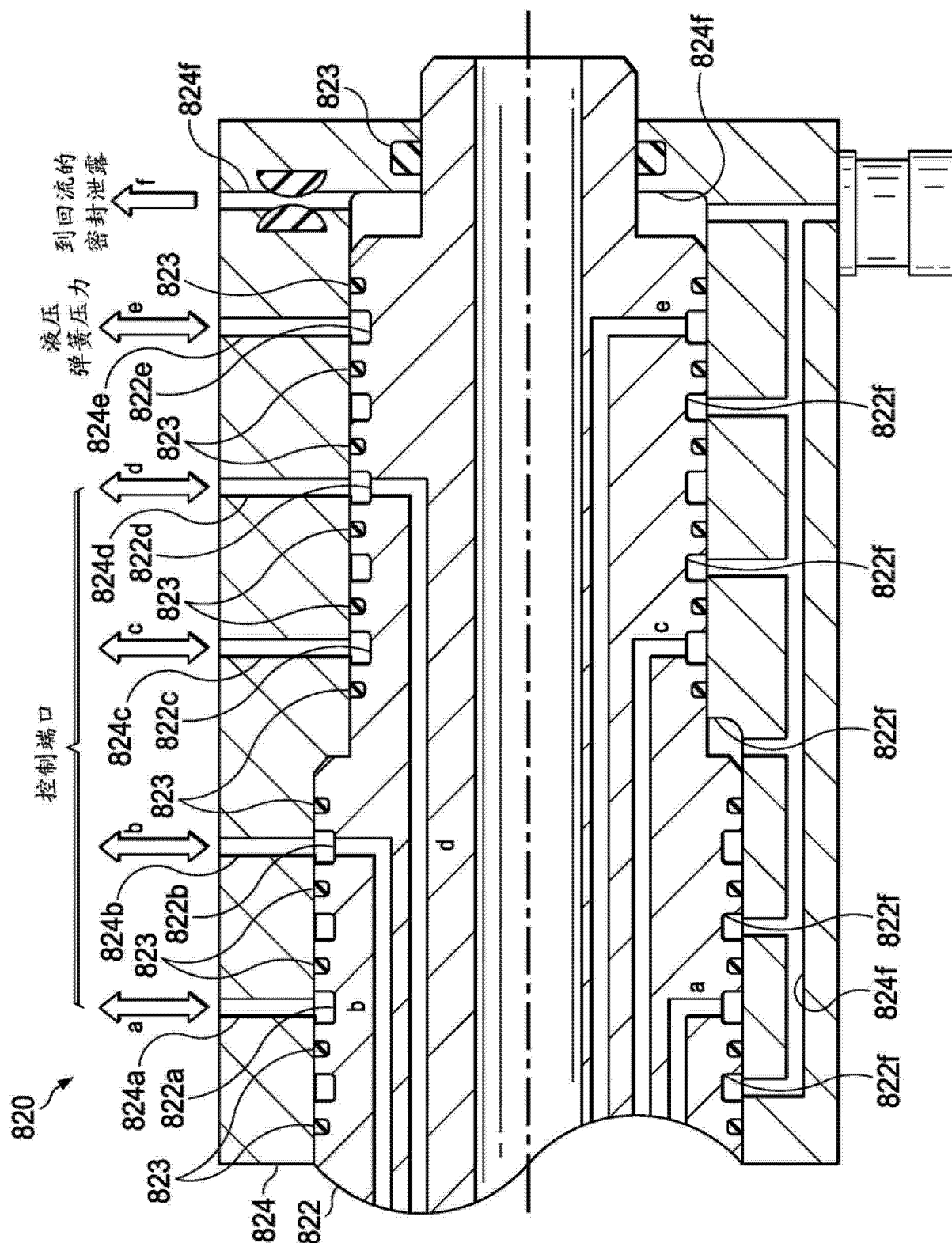


图 12C

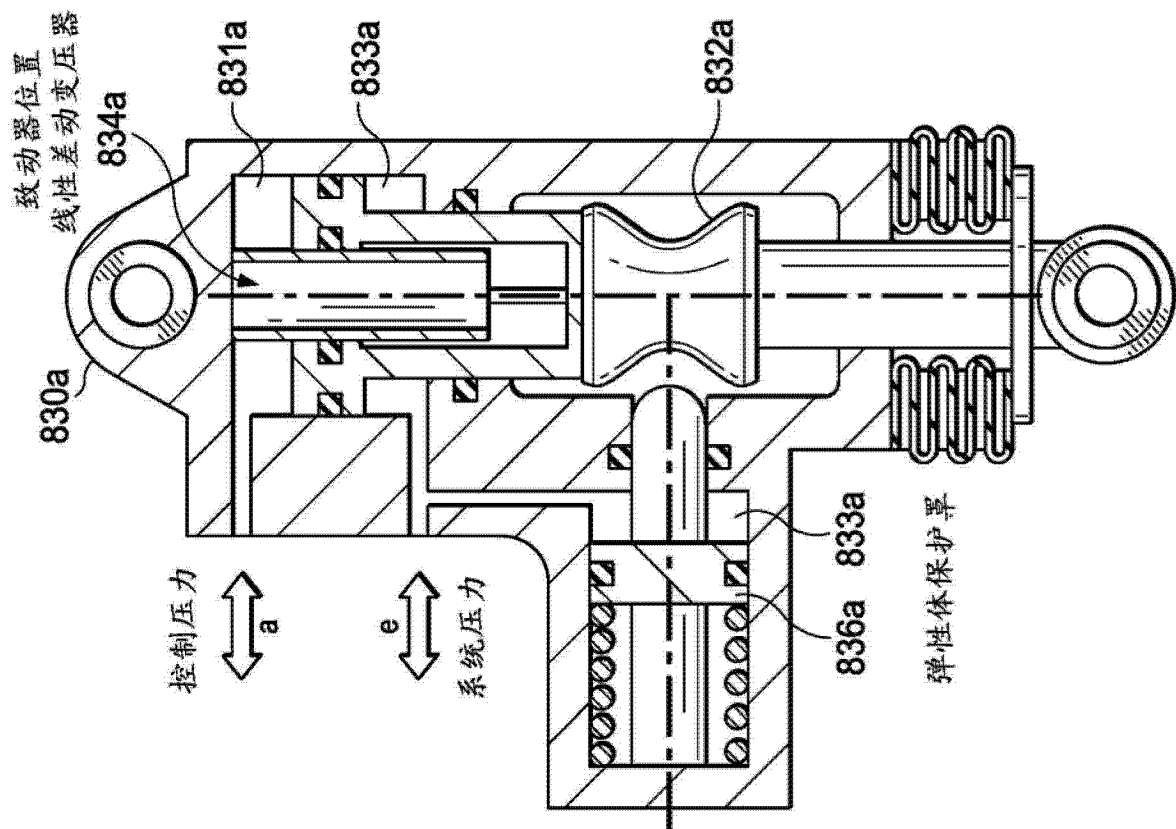


图 12D

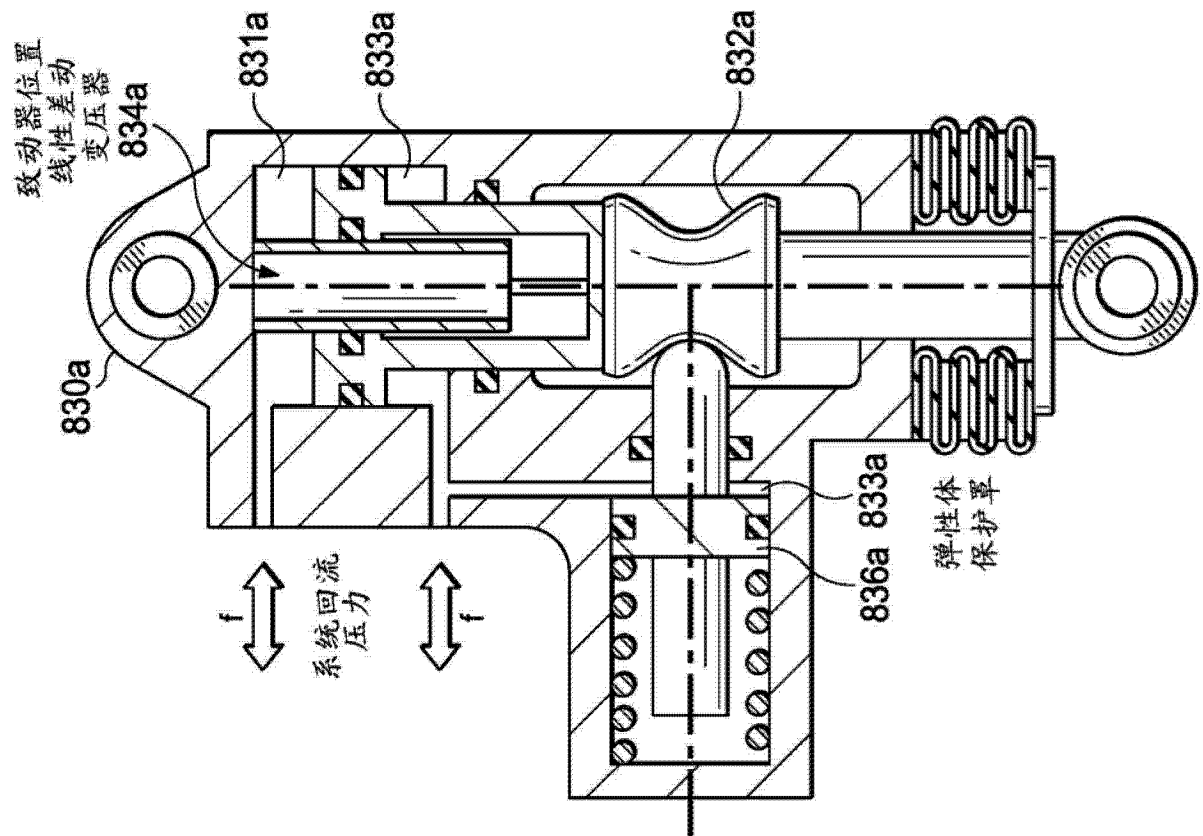


图 12E

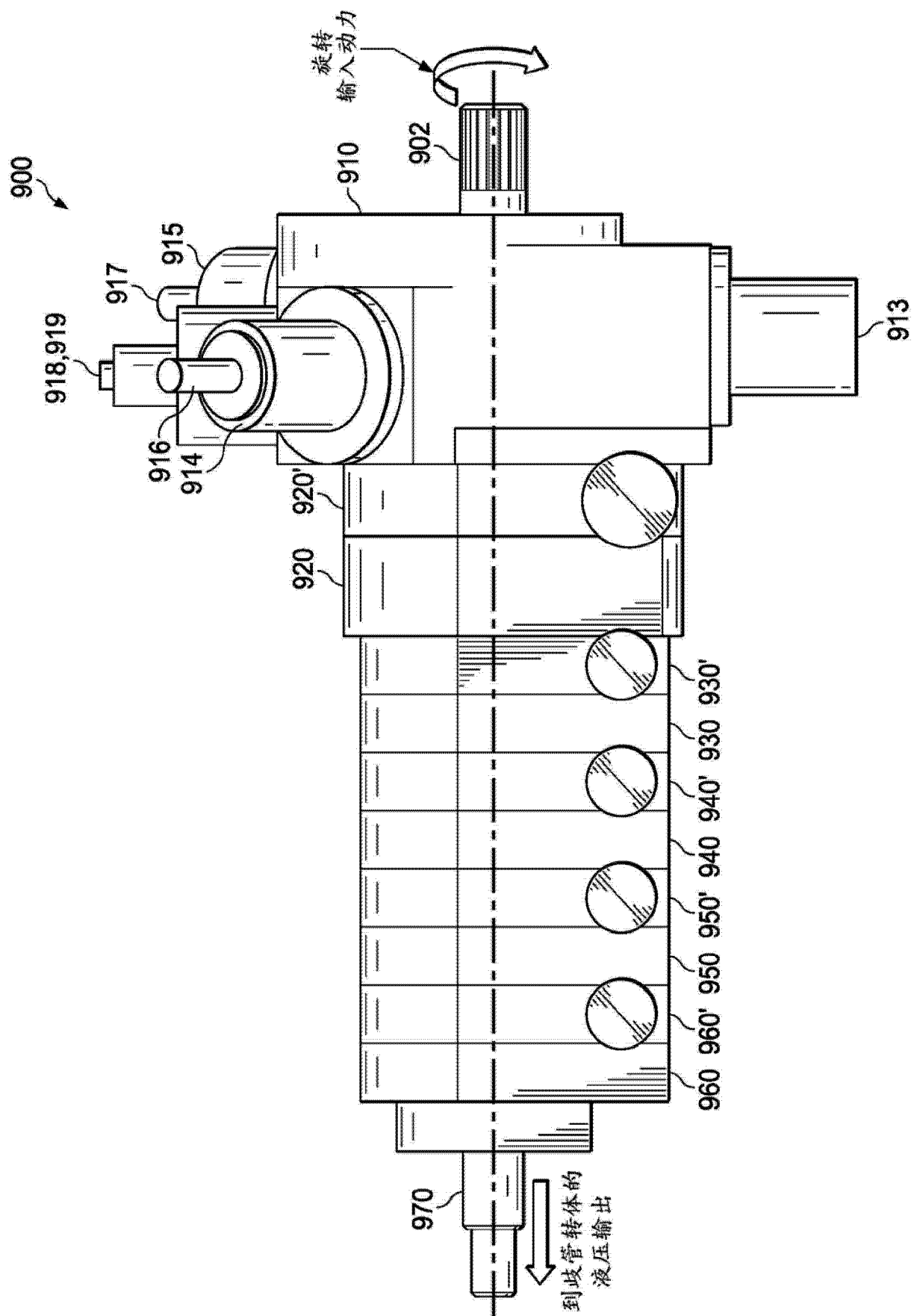


图 13A

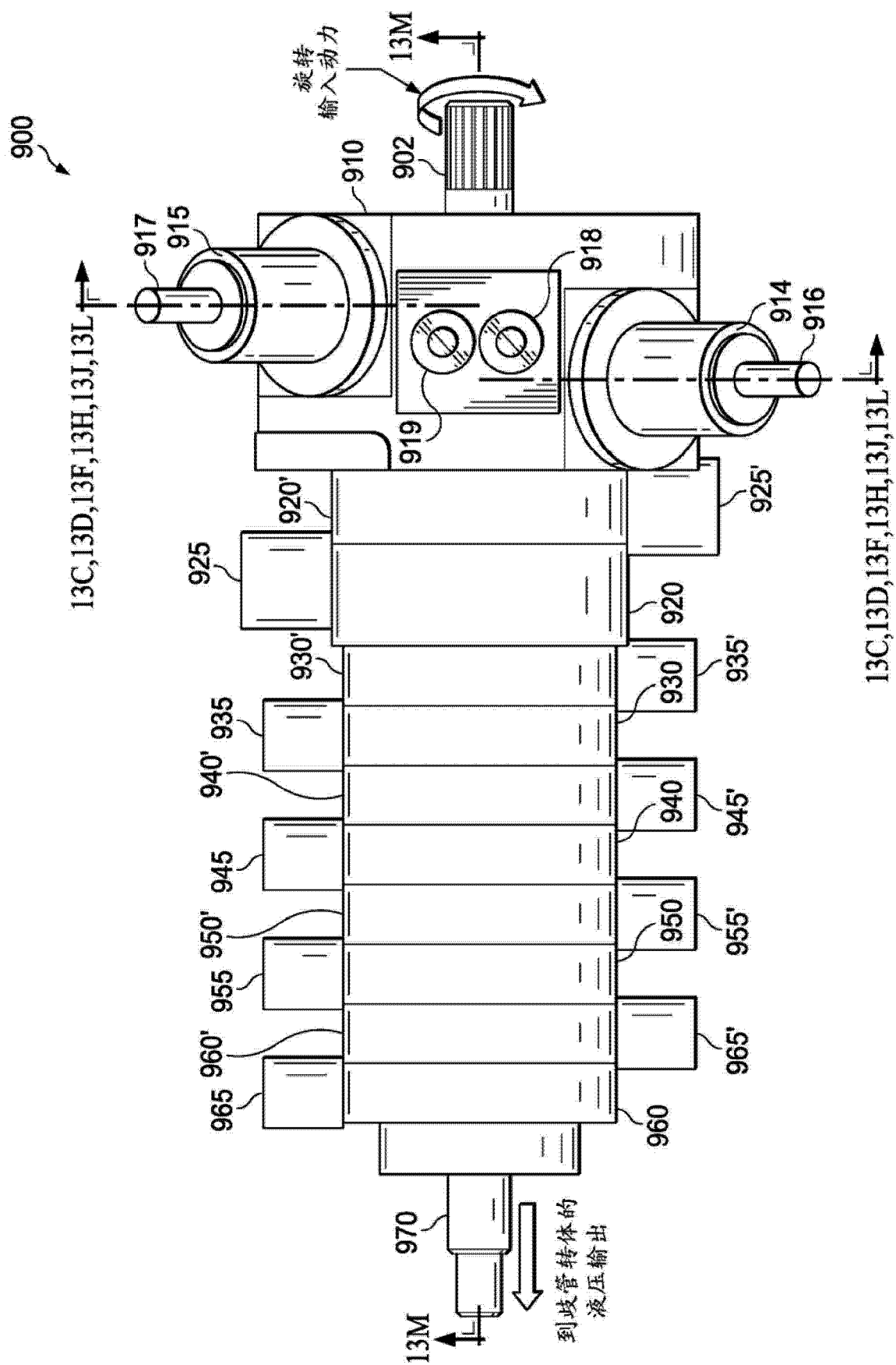


图 13B

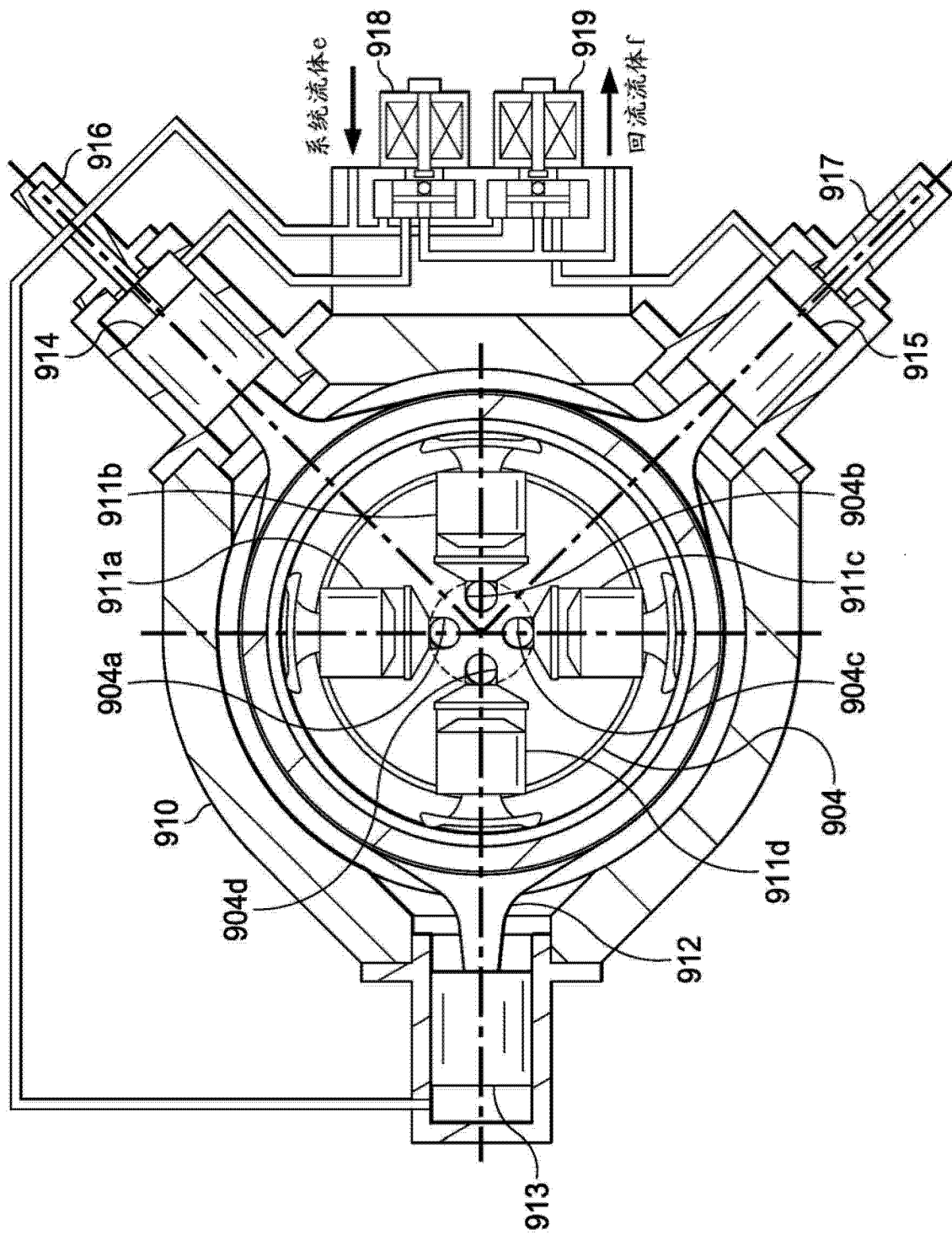


图 13C

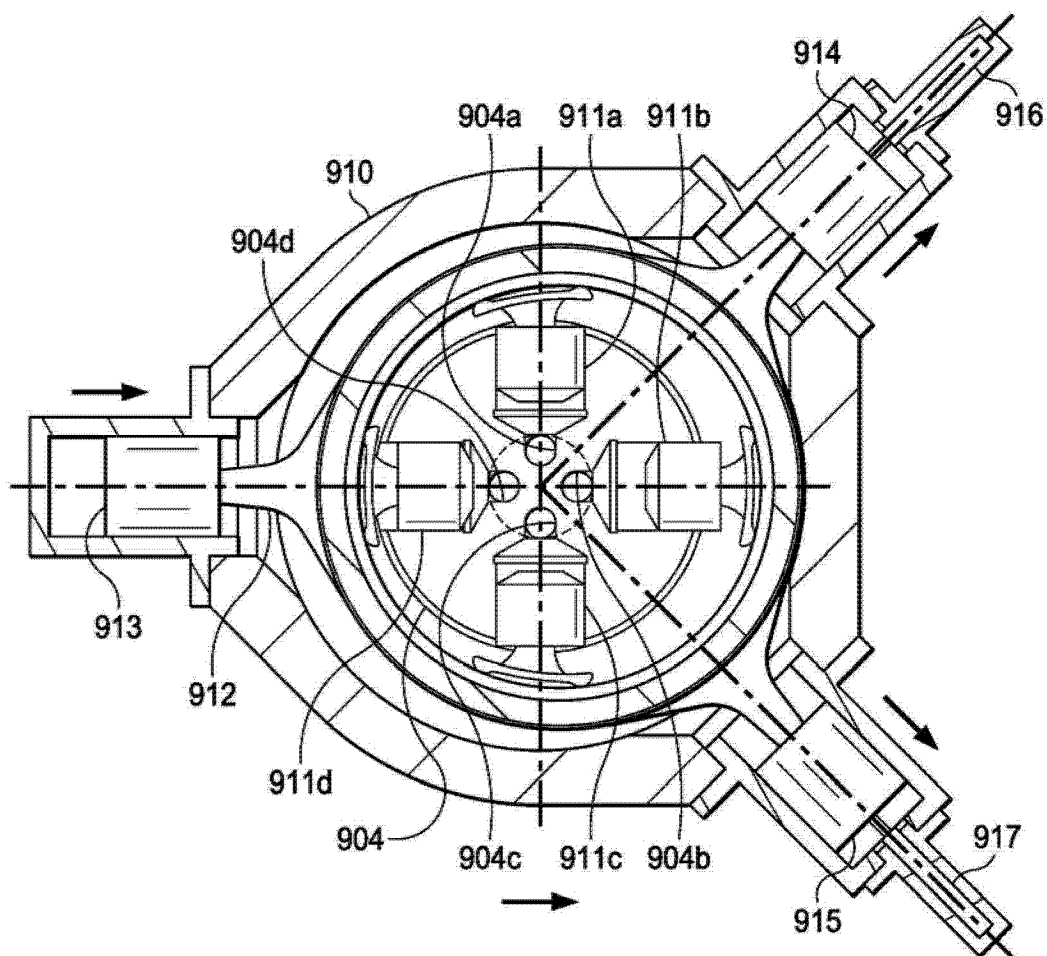


图 13D

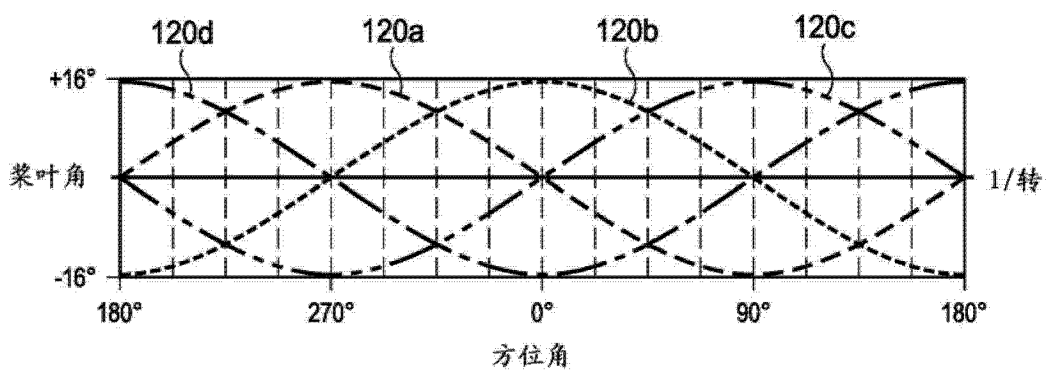


图 13E

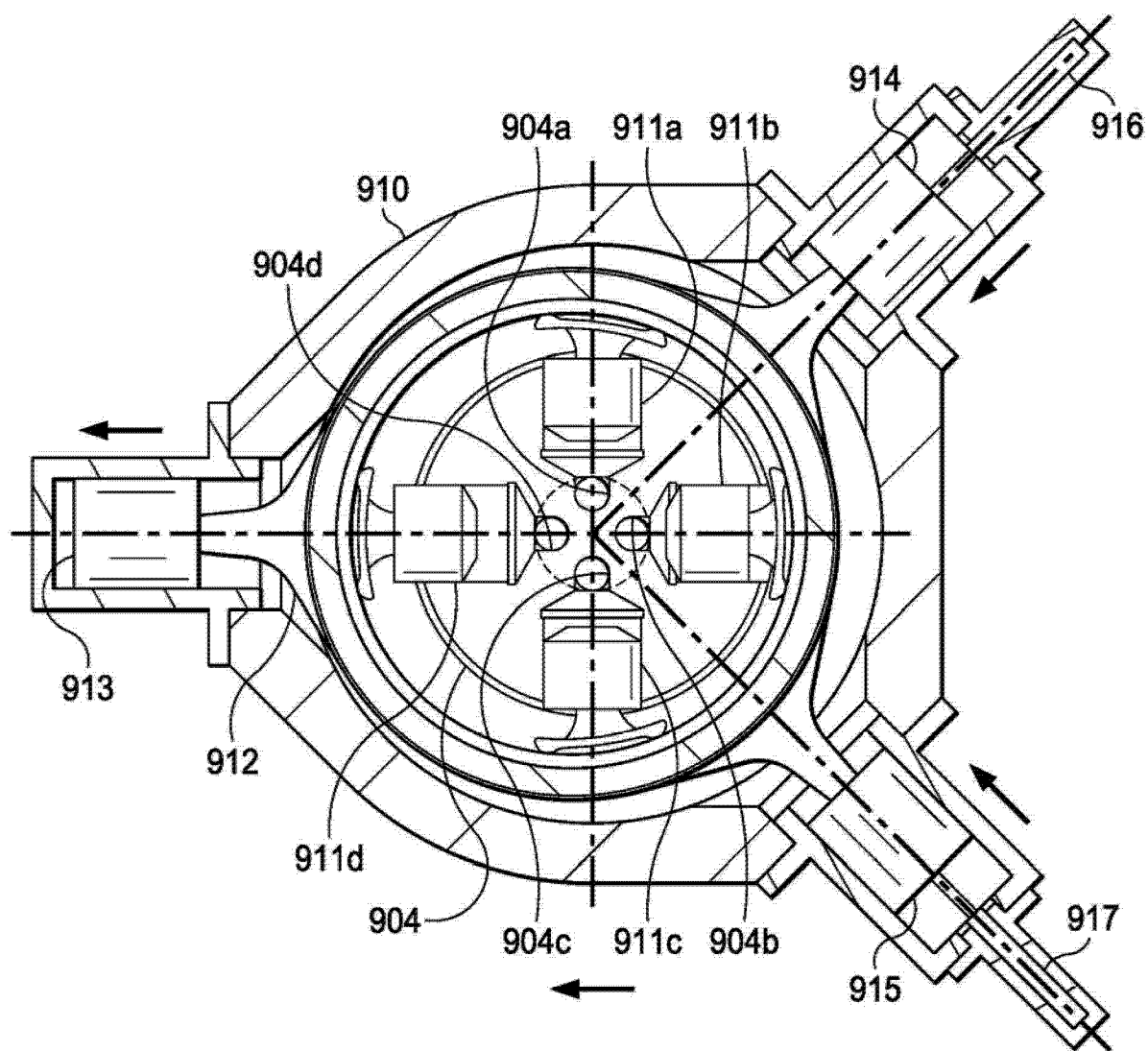


图 13F

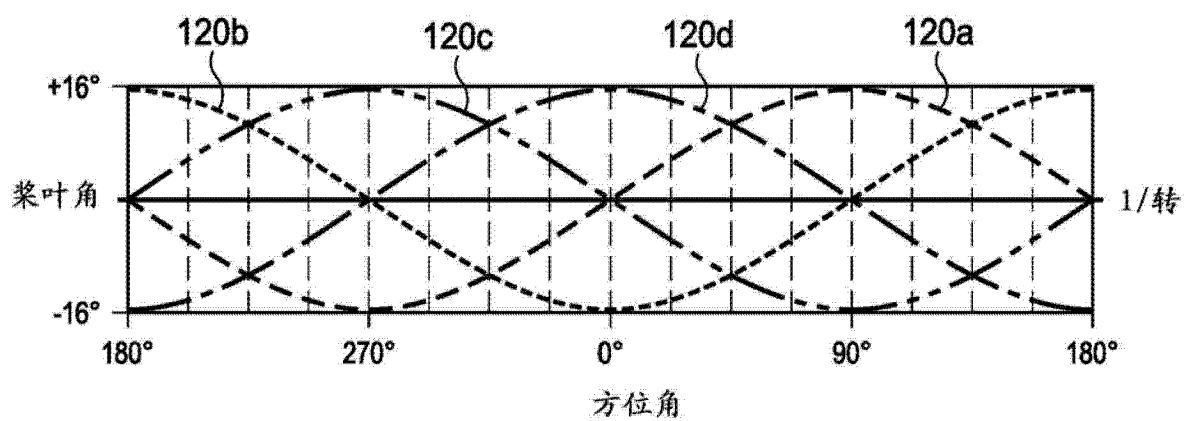


图 13G

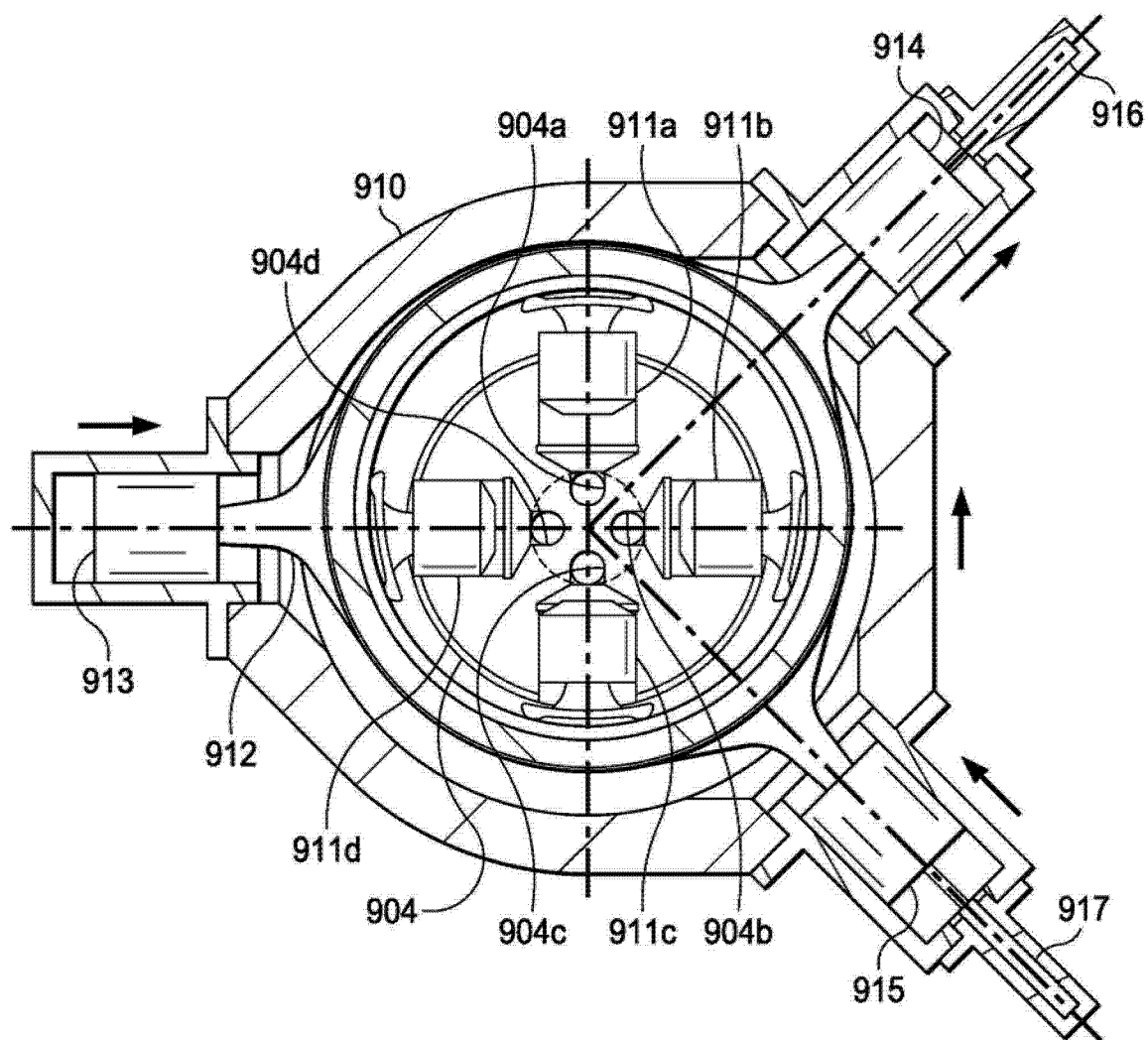


图 13H

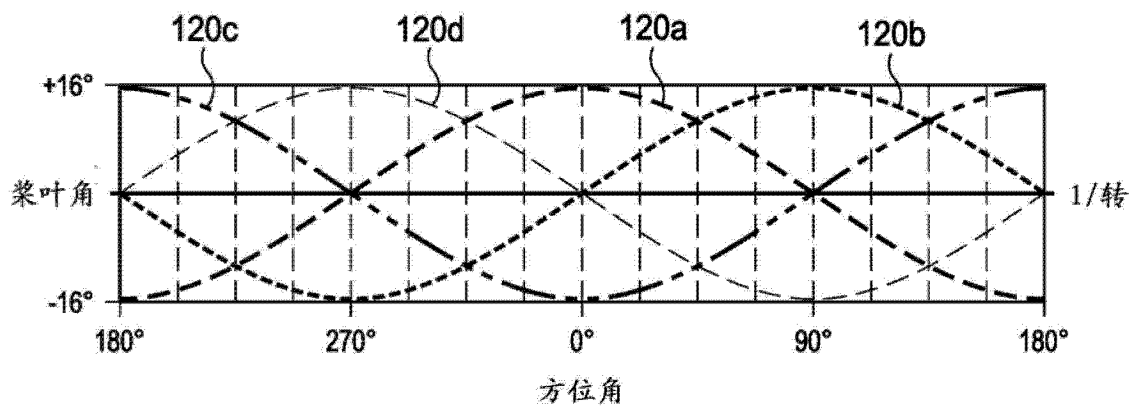


图 13I

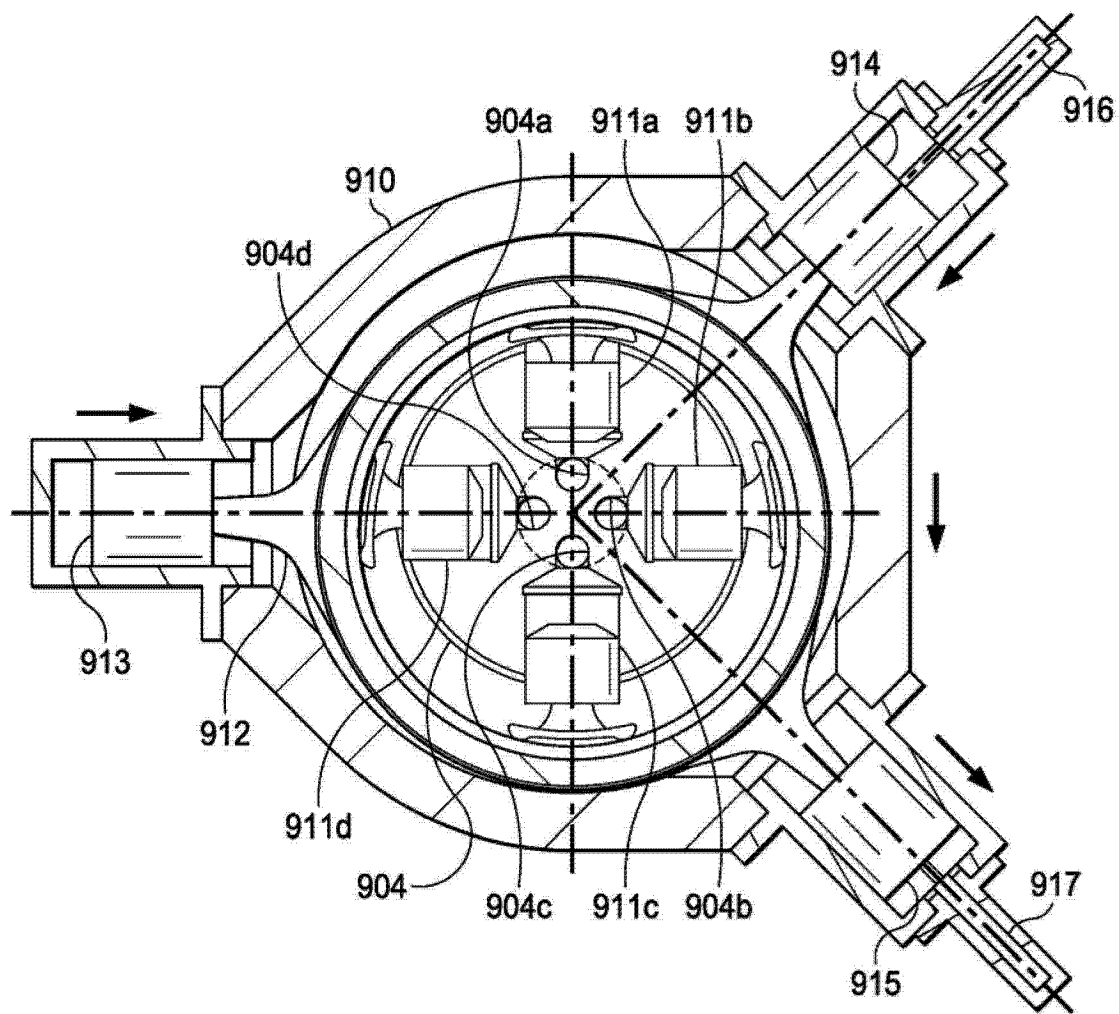


图 13J

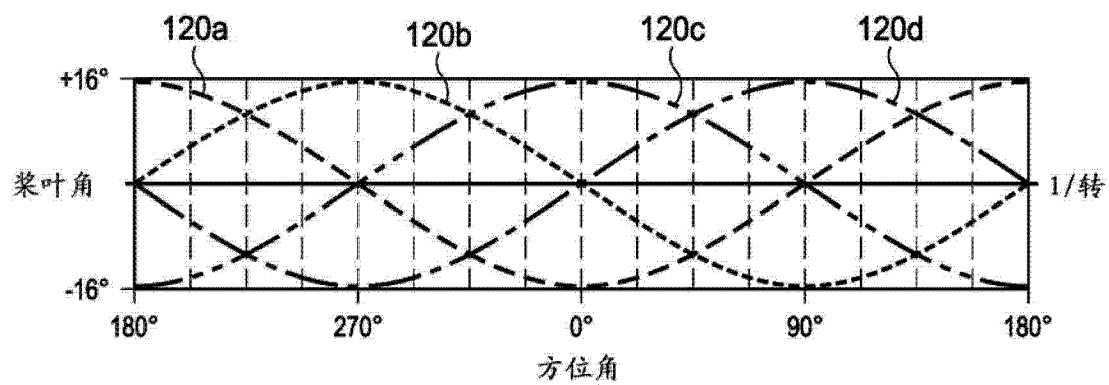


图 13K

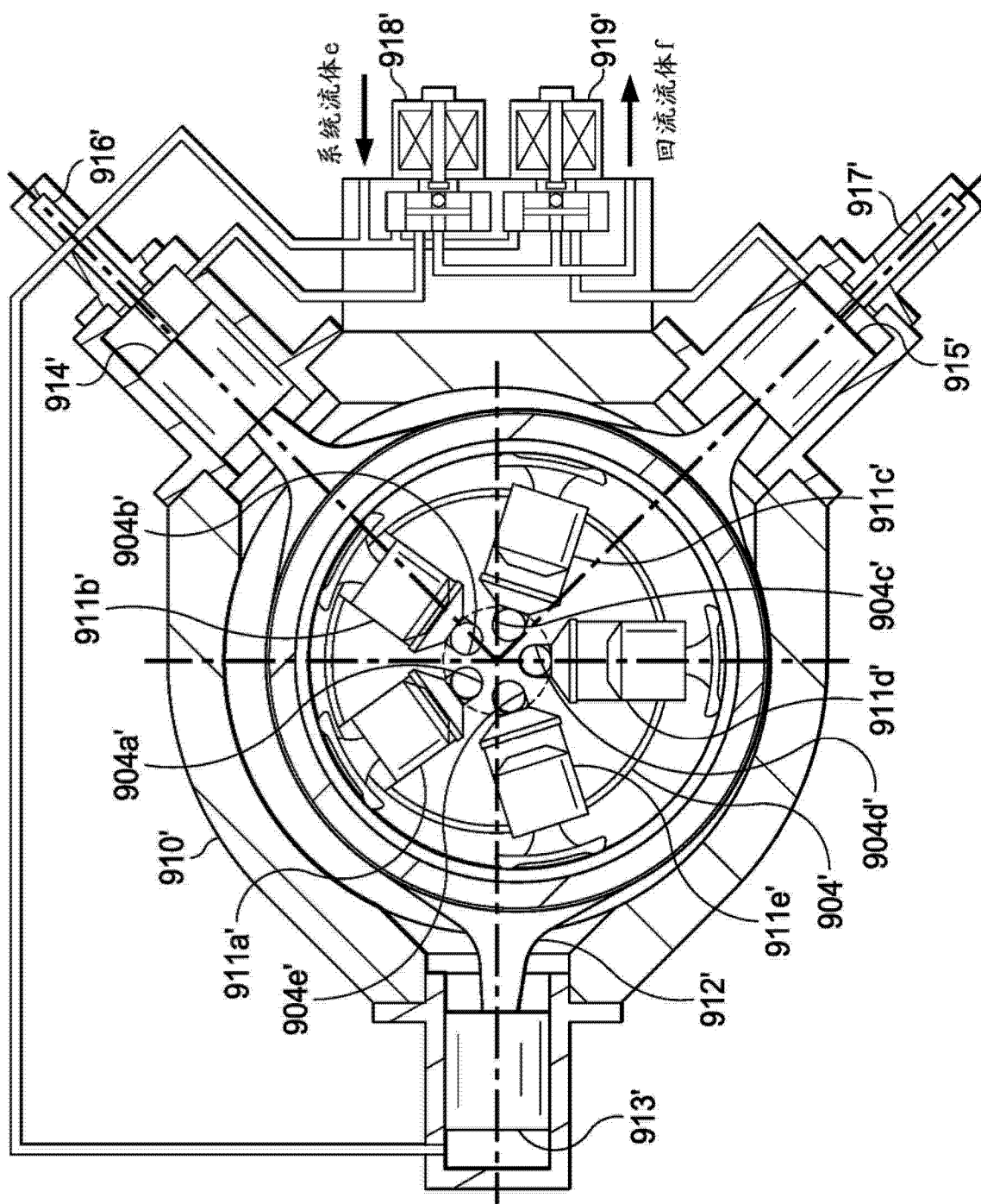


图 13L

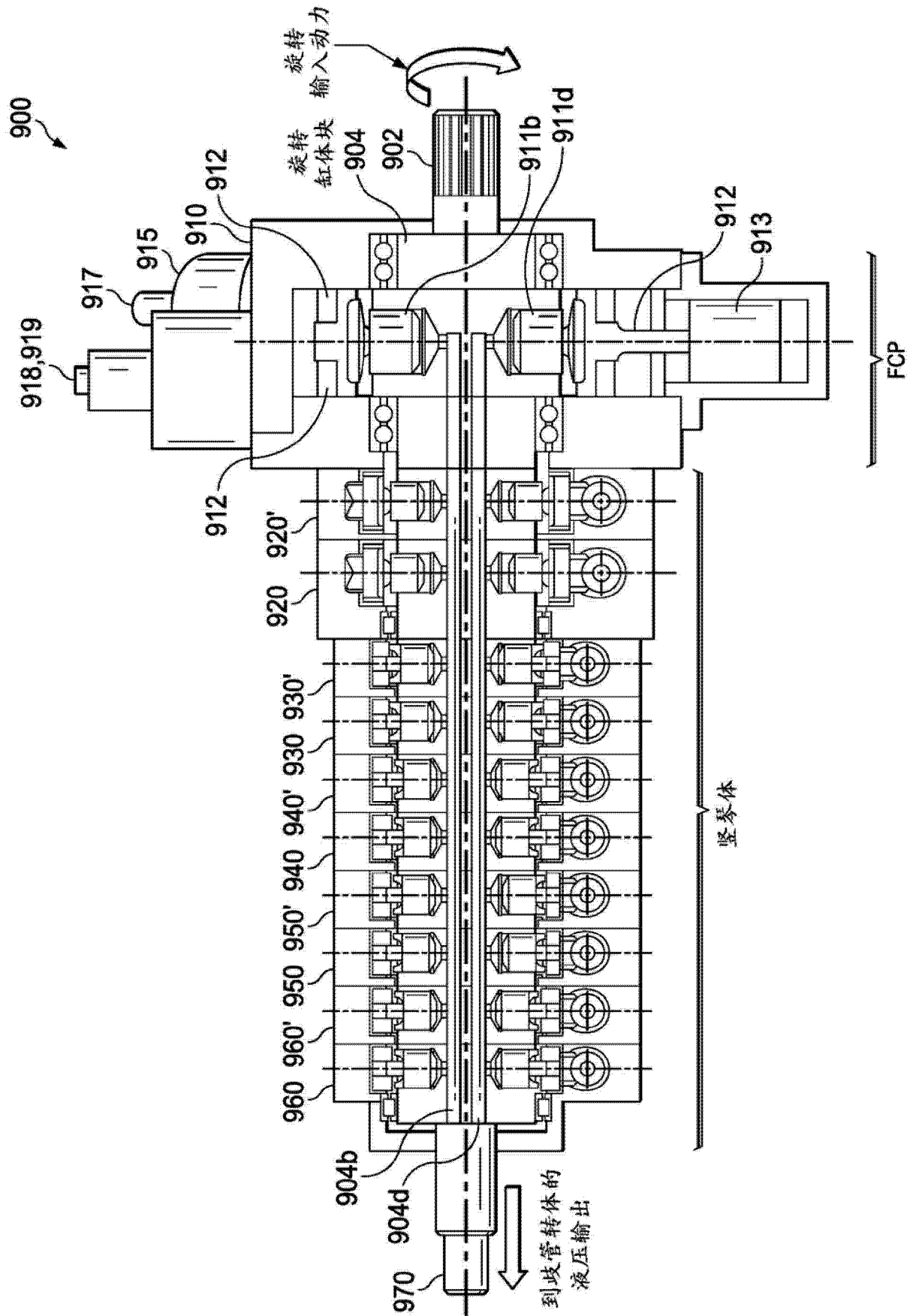


图 13M

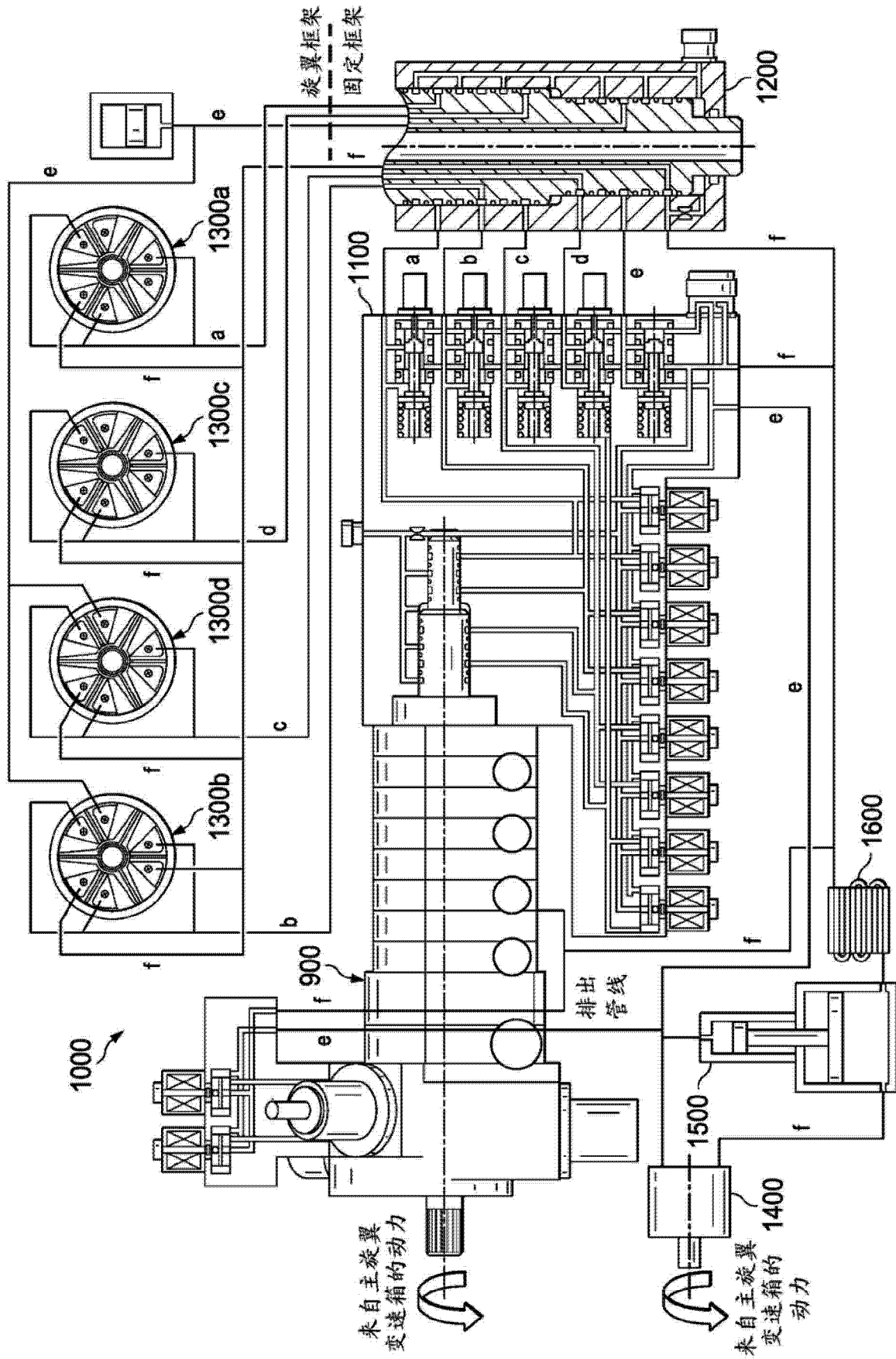


图 14A

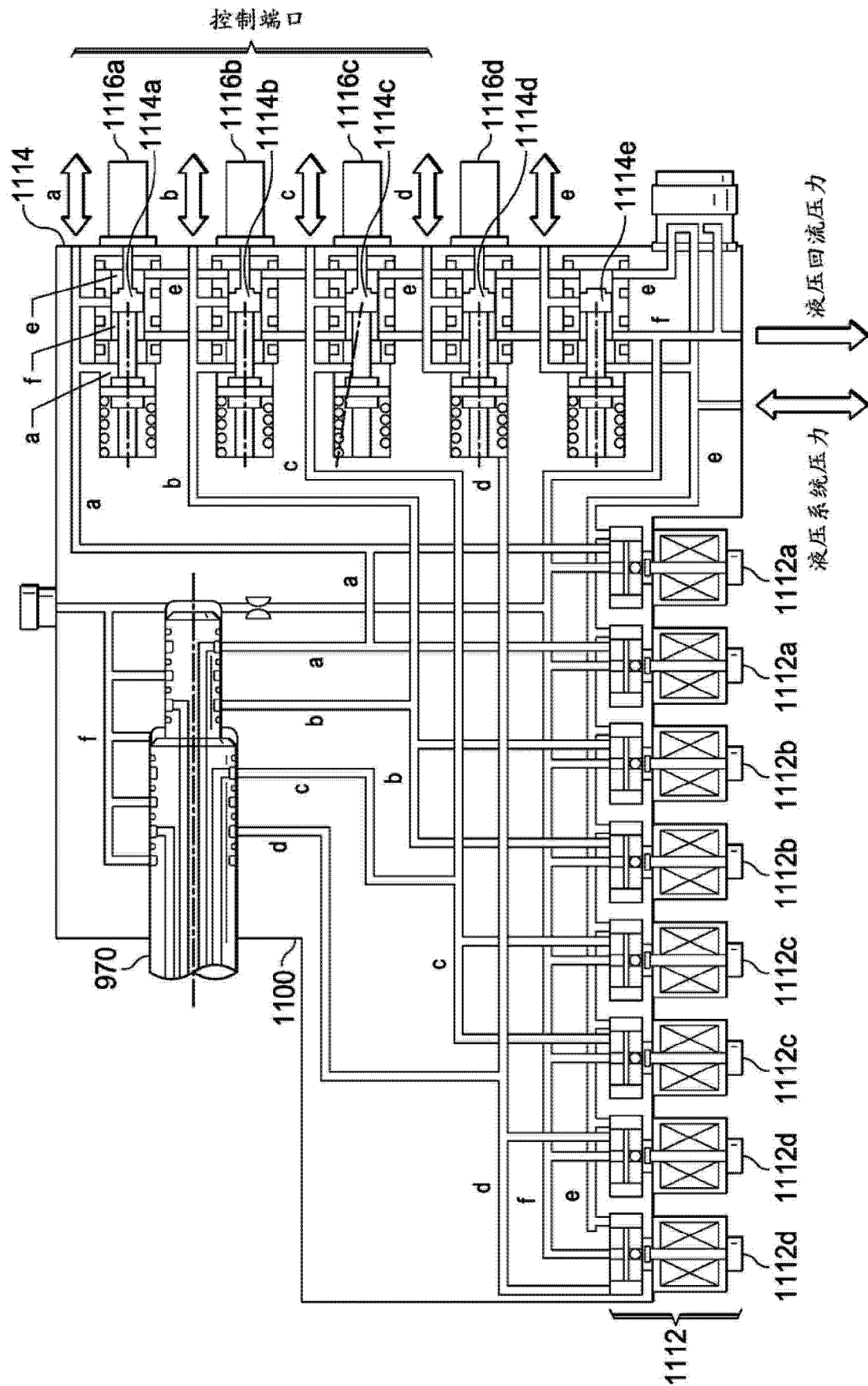


图 14B

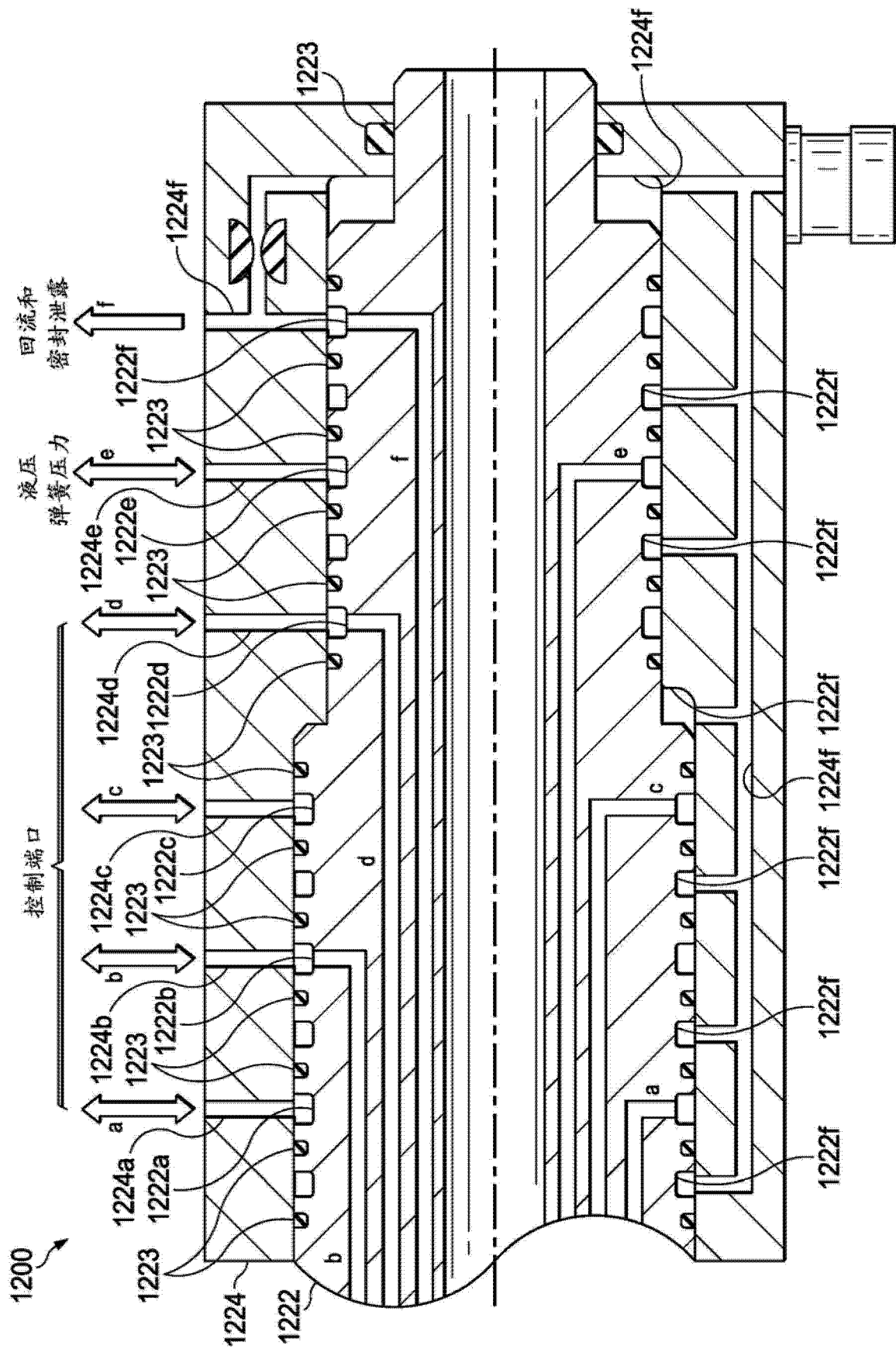


图 14C

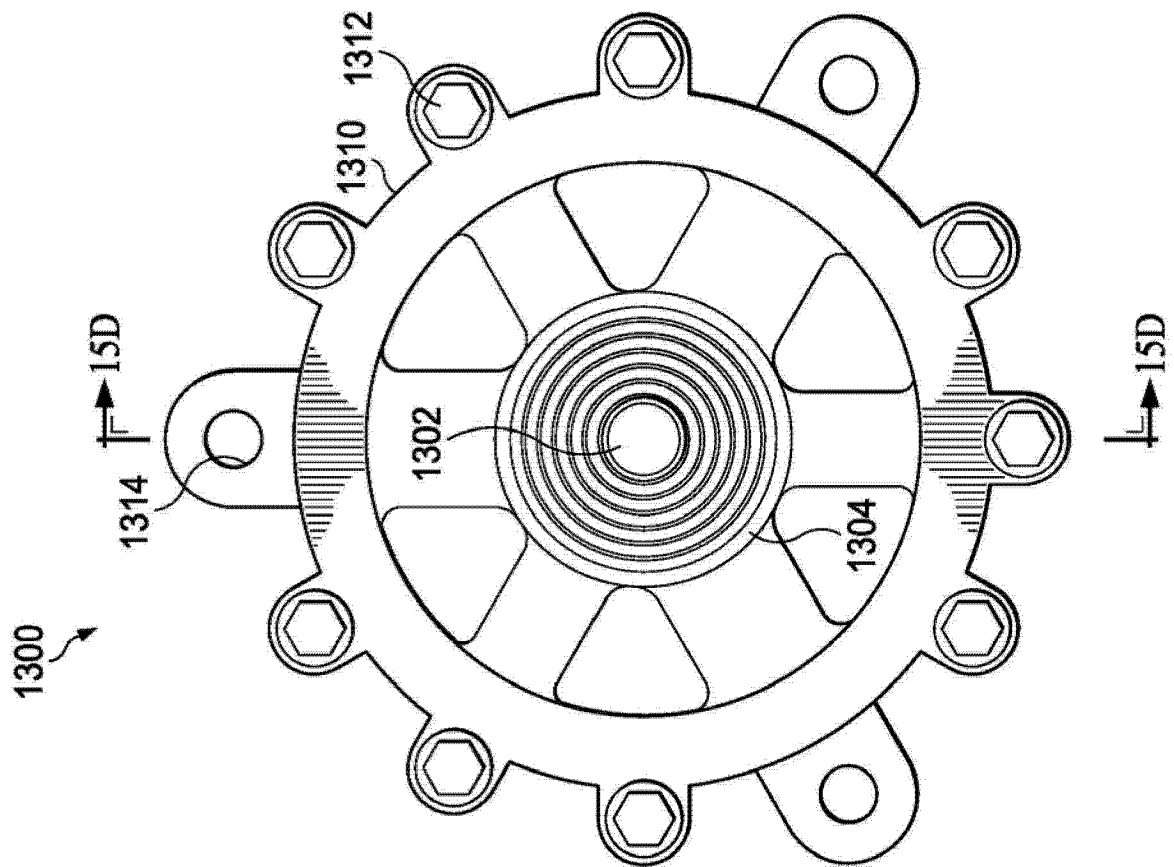


图 15A

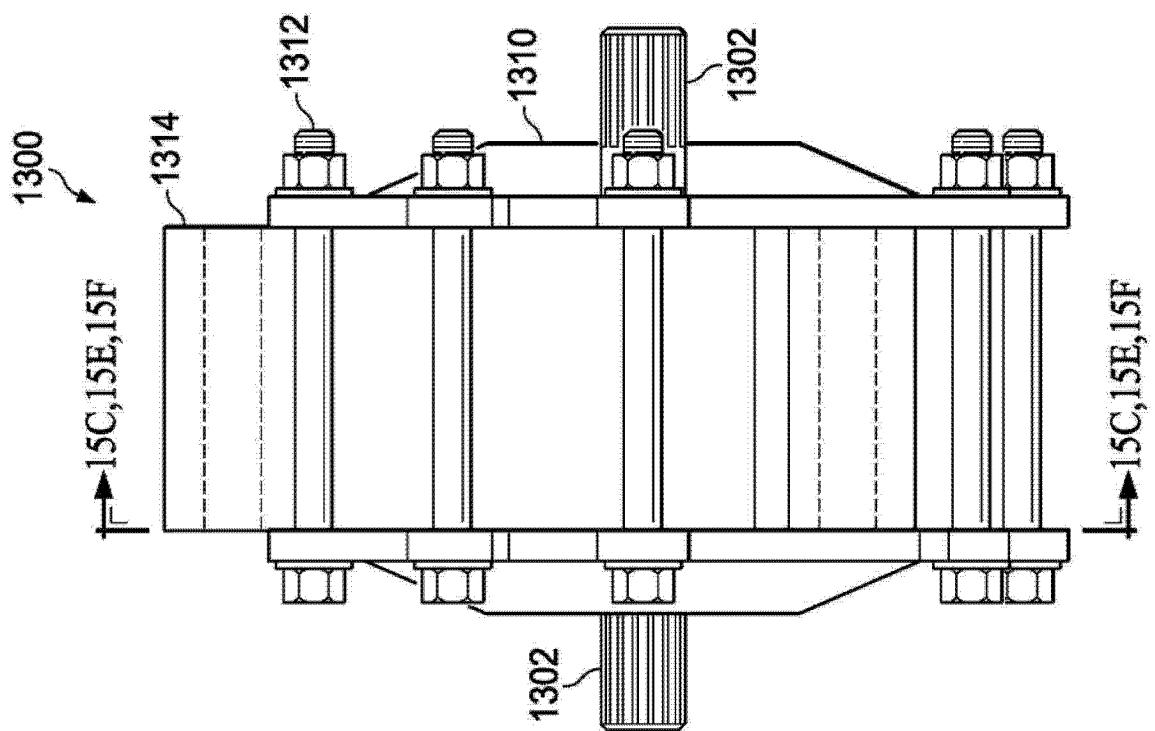


图 15B

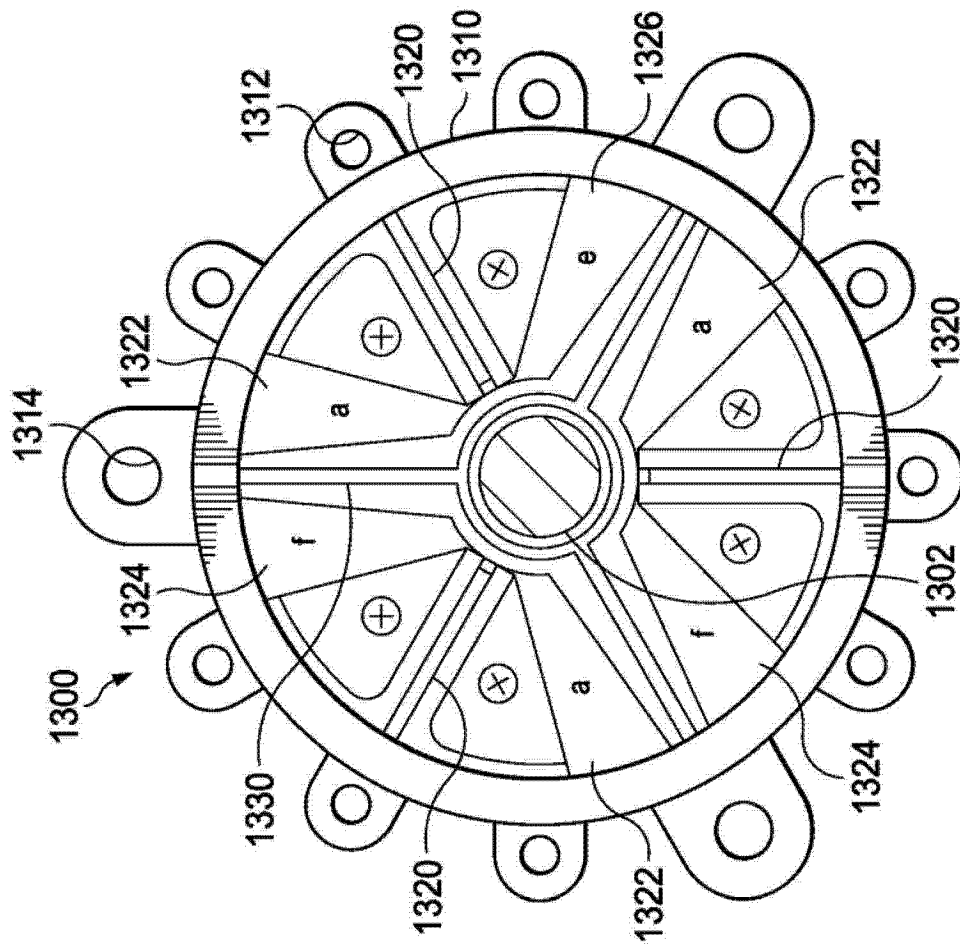


图 15C

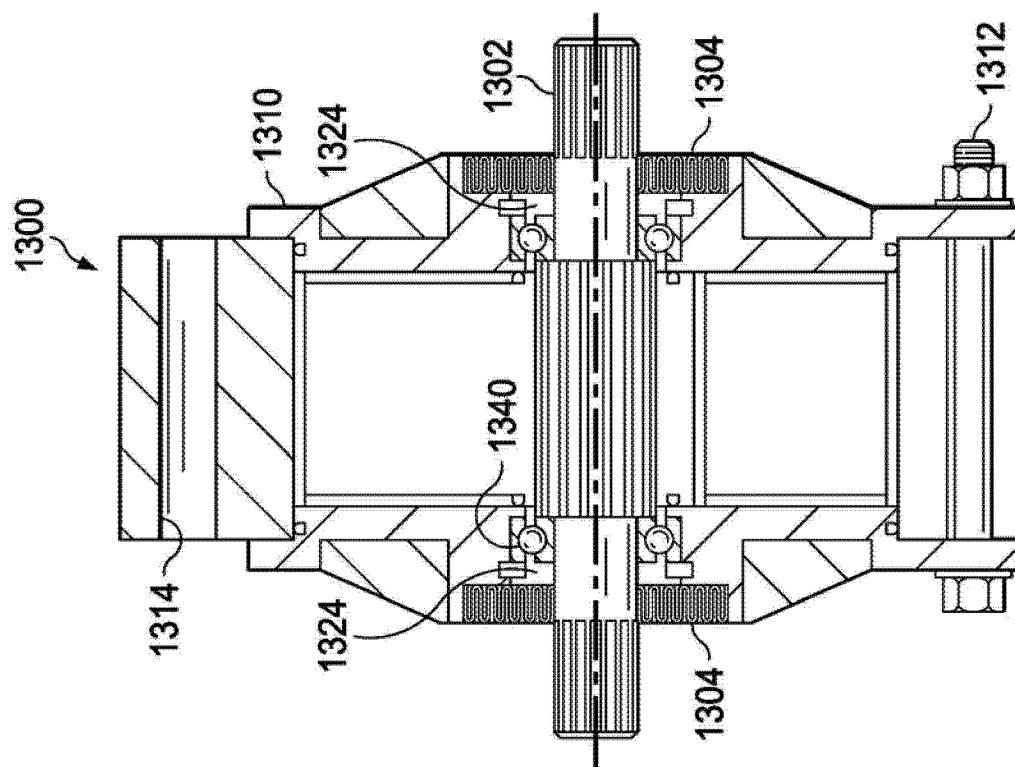


图 15D

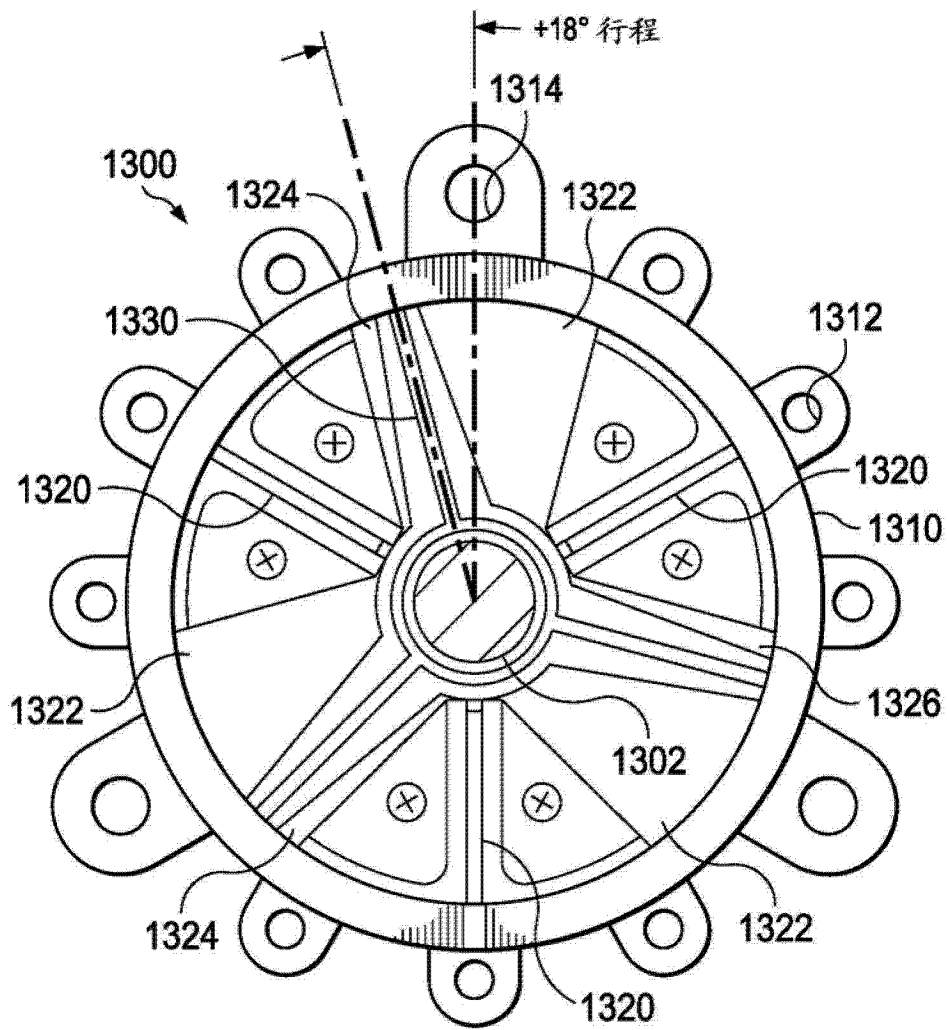


图 15E

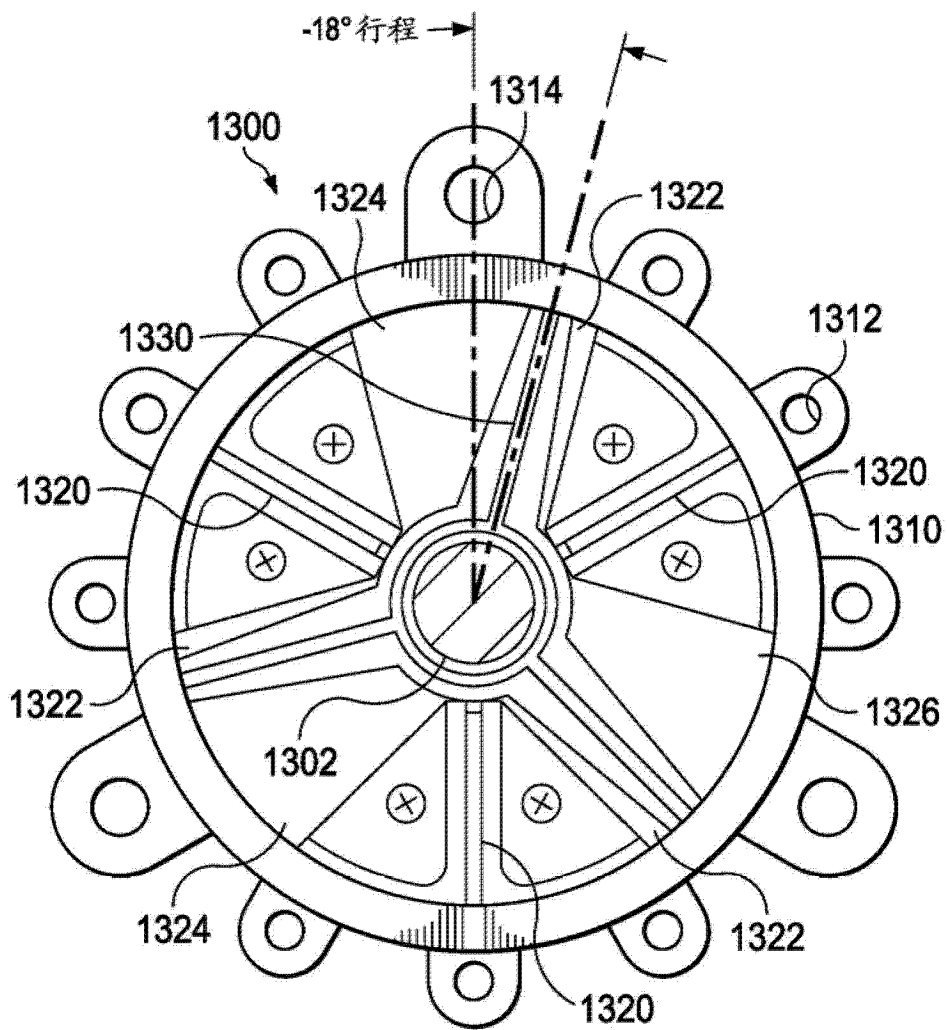


图 15F

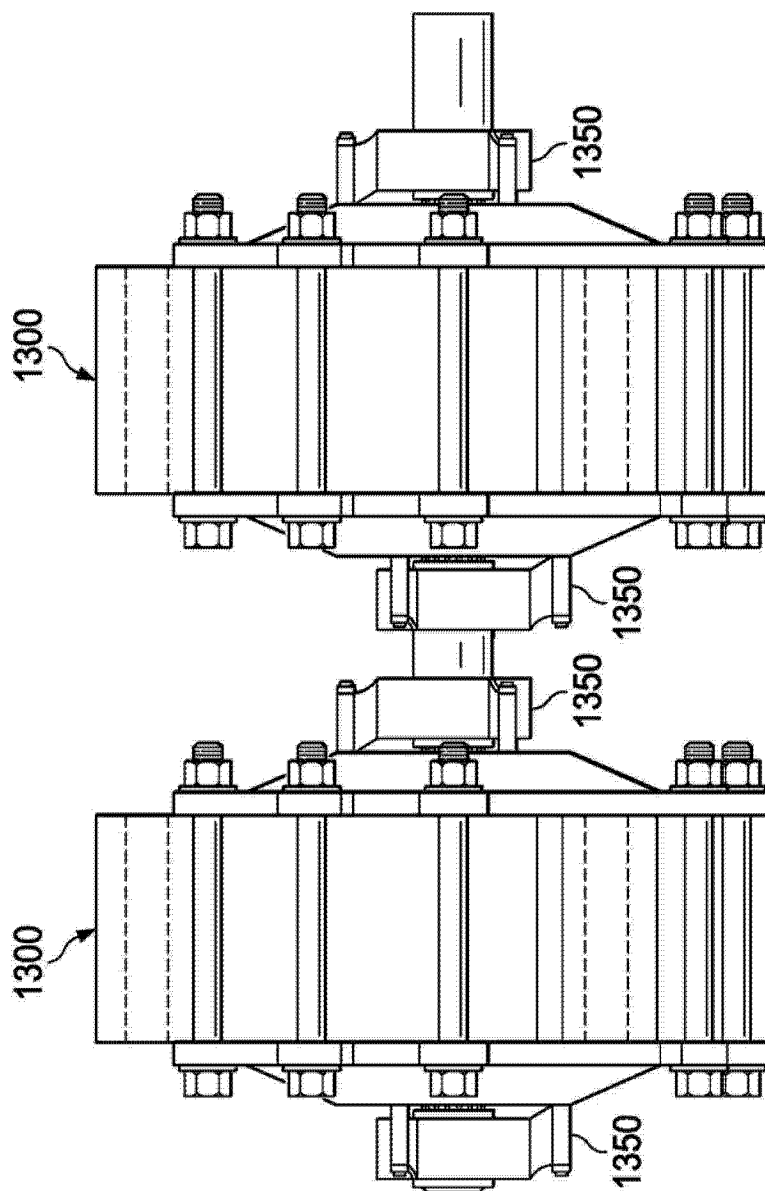


图 16A

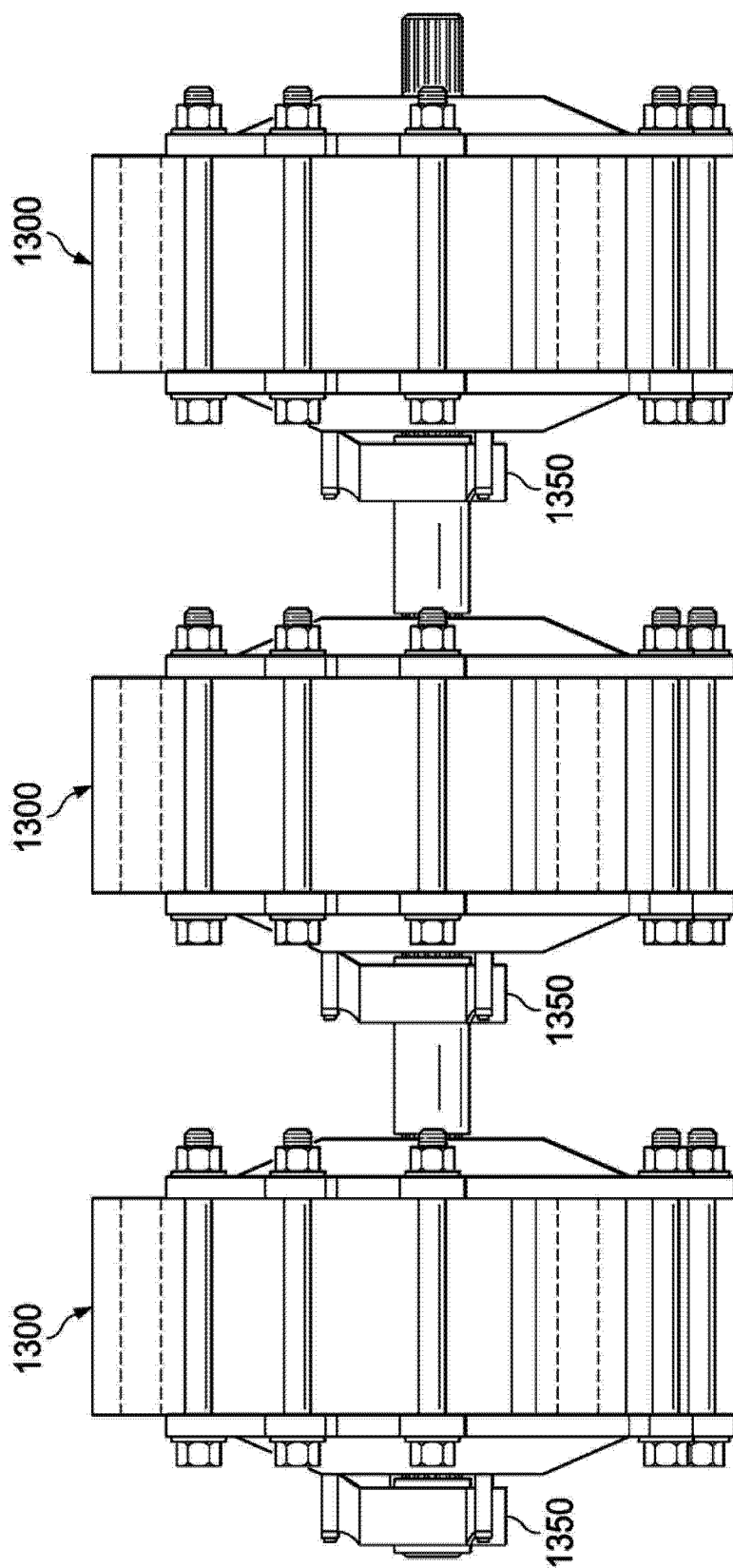


图 16B

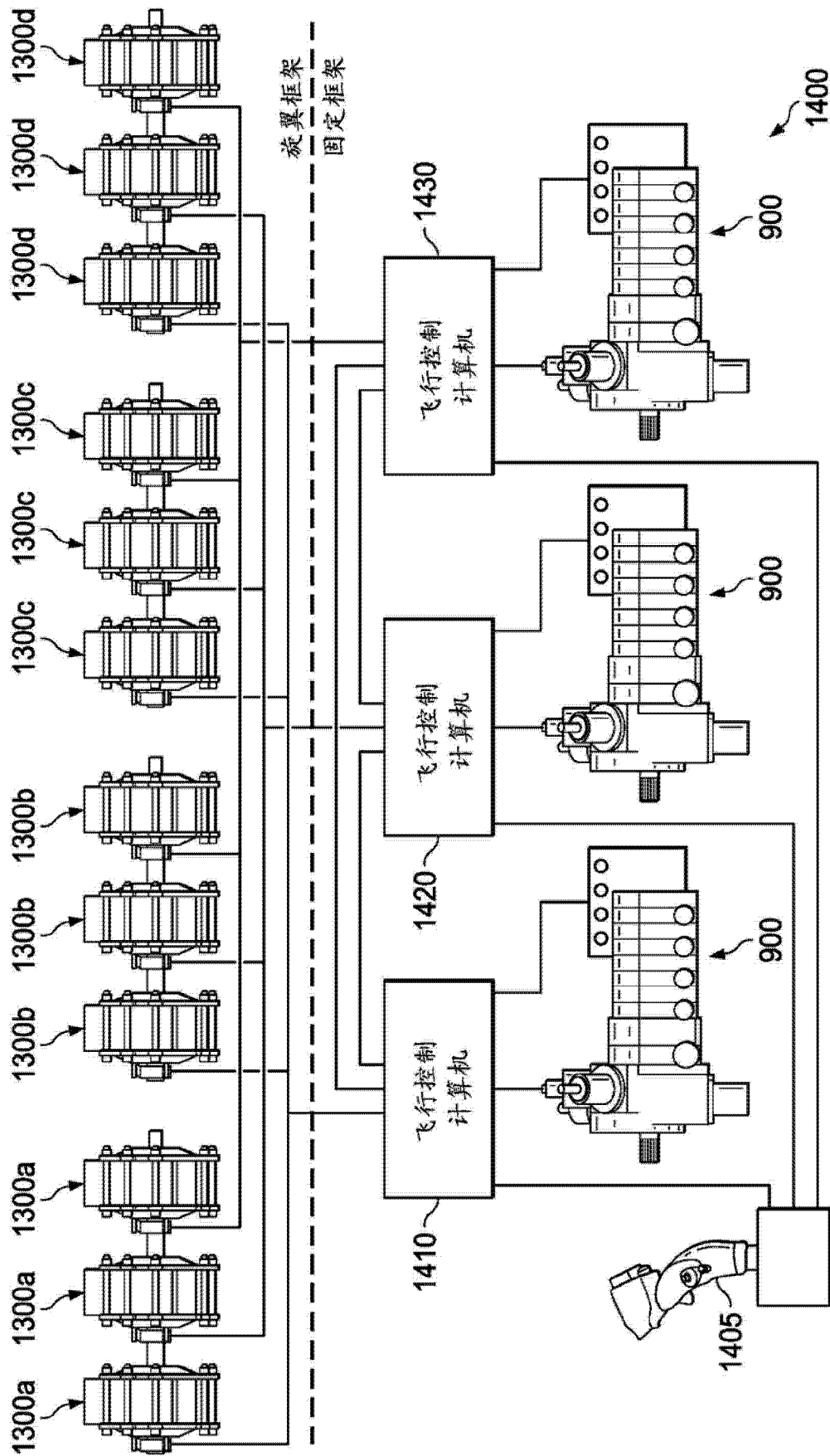


图 17A

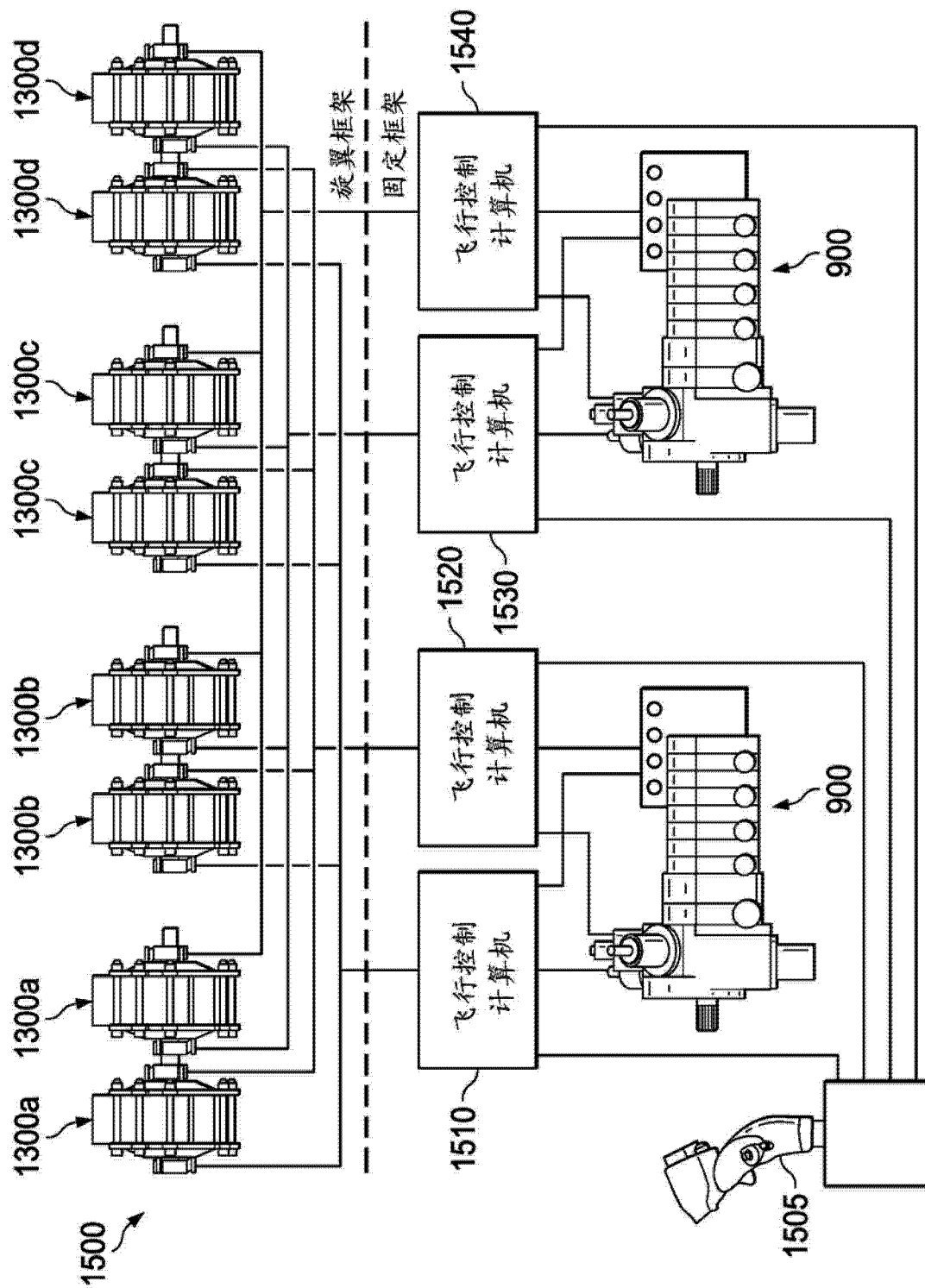


图 17B