



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107250925 B

(45)授权公告日 2020.06.23

(21)申请号 201580013815.6

(22)申请日 2015.01.13

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 107250925 A

(43)申请公布日 2017.10.13

(30)优先权数据

14150939.8 2014.01.13 EP

14173947.4 2014.06.25 EP

14183385.5 2014.09.03 EP

14183624.7 2014.09.04 EP

14195719.1 2014.12.01 EP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日  
2016.09.13

(86)PCT国际申请的申请数据  
PCT/IB2015/050242 2015.01.13

(87)PCT国际申请的公布数据  
W02015/104692 EN 2015.07.16

(73)专利权人 洛桑联邦理工学院

地址 瑞士洛桑

(72)发明人 S·亨内恩 I·瓦迪 L·鲁贝特

(74)专利代理机构 北京派特恩知识产权代理有限公司 11270

代理人 康艳青 姚开丽

(51)Int.Cl.

G04B 17/04(2006.01)

(56)对比文件

US 1595169 A,1926.08.10,

CN 101105684 A,2008.01.16,

CN 86105652 A,1987.01.21,

CN 101252337 A,2008.08.27,

CN 102163953 A,2011.08.24,

CN 1758160 A,2006.04.12,

US 1595169 A,1926.08.10,

审查员 耿燕华

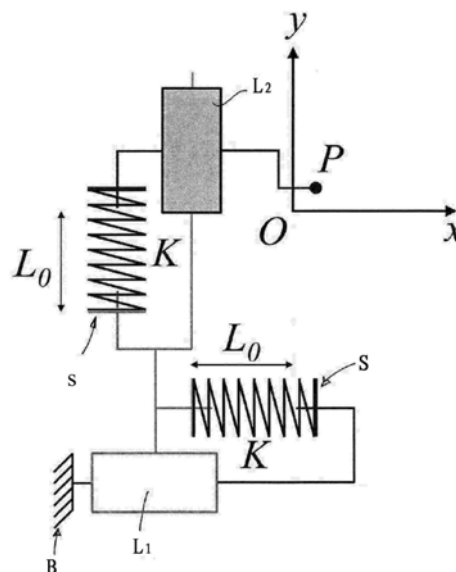
权利要求书2页 说明书27页 附图48页

(54)发明名称

机械的各向同性谐波振荡器和振荡器系统

(57)摘要

机械的各向同性谐波振荡器至少包括二自由度联动装置,其利用弹簧相对于固定基部支撑轨道运动质量体,该弹簧具有各向同性和线性恢复力的特性。振荡器可以用在计时装置中,例如手表。



1. 一种机械的各向同性谐波振荡器,包括利用弹簧(S)相对于固定基部(B;20;140;140a)振荡的质量体(P;22;95;131e-134e;179,189,199;309),所述弹簧具有各向同性和线性恢复力的特性,

其中,所述弹簧至少包括:连接在所述质量体和中间块之间的第一平行弹簧级(131);以及连接在所述中间块和所述固定基部之间的第二平行弹簧级(132),

其中,所述第一平行弹簧级的挠曲方向基本上垂直于所述第二平行弹簧级的挠曲方向。

2. 如权利要求1所述的振荡器,其基于形成二自由度联动装置的XY平面弹簧级,导致所述质量体的纯粹平移的运动,以使得所述质量体沿着它的轨道行进,同时保持固定的取向。

3. 如权利要求1或2所述的振荡器,其中,每个弹簧级(131-134)包括至少两个平行的弹簧(131a-131d,132a-132d,133a-133d,134a-134d;171,172,174,176;192,194,196,198)。

4. 如权利要求1或2所述的振荡器,其中,每个弹簧级由具有串联安装的两个平行弹簧级的复合平行弹簧级(192,194,196,198;302,304,306,308)构成。

5. 如权利要求1所述的振荡器,其中,该振荡器包括用于各自自由度的至少一个补偿质量体(871,876),其动态地平衡所述振荡器。

6. 如权利要求5所述的振荡器,其中,所述补偿质量体(871,876)移动以使得整个机构的重心保持不动。

7. 如权利要求2所述的振荡器,其中,所述纯粹平移的运动包括X平移和Y平移,所述X平移和所述Y平移通过广义坐标来代替,其中,所述X平移和所述Y平移能由旋转代替。

8. 如权利要求1-2和5-7中的一项所述的振荡器,包括用于向所述振荡器提供连续机械能量供应的机构。

9. 如权利要求8所述的振荡器,其中,所述机构向所述振荡器施加转矩或间歇力。

10. 如权利要求8所述的振荡器,其中,所述机构包括可变半径曲柄(83),其通过枢轴(82)绕固定框架(81)旋转,并且其中,棱柱接头(84)允许曲柄末端以可变半径旋转。

11. 如权利要求8所述的振荡器,其中,所述机构包括保持曲轴(92)的固定框架(91)、附连到所述曲轴(92)并配备有棱形槽(93')的曲柄(93),在曲轴上施加保持转矩M,其中,刚性销(94)固定到所述振荡器的所述质量体(95),其中,所述销接合在所述槽(93')中。

12. 如权利要求8所述的振荡器,其中,所述机构包括用于向所述振荡器进行间歇机械能量供应的天文钟擒纵机构。

13. 如权利要求12所述的振荡器,其中,所述天文钟擒纵机构包括被固定到所述质量体的两个平行的捕捉件(151,152),藉此一个捕捉件(152)使以弹簧(155)为枢轴转动的掣子(154)移位以释放擒纵轮(153),和其中,所述擒纵轮脉冲式推在另一个捕捉件(151)上,从而使失去的能量恢复到所述振荡器。

14. 如权利要求1-2、5-7和9-13中任一项所述的振荡器,被用作用于测量秒的片段的计时器的时基,其只需要扩展的速度倍增齿轮组。

15. 如权利要求1-2、5-7和9-13中任一项所述的振荡器,其中,所述振荡器被用作速度调节器,所述速度调节器用于调节自鸣钟或音乐钟和手表以及音乐盒。

16. 一种振荡器系统,包括至少一个如前述权利要求1至3以及5至15中的一项所限定的振荡器。

17. 如权利要求16所述的振荡器系统,其中,所述振荡器系统包括两个振荡器。

18. 如权利要求16或17所述的振荡器系统,其中,每个弹簧级由具有串联安装的两个平行弹簧级的复合平行弹簧级(192,194,196,198;302,304,306,308)构成,并且其中,多个所述复合平行弹簧级平行堆叠,并且每个所述复合平行弹簧级相对于紧挨着它的级旋转一角度。

19. 如权利要求18所述的振荡器系统,其中,所述角度为 $45^{\circ}$ 或 $90^{\circ}$ 或 $180^{\circ}$ 。

20. 一种计时装置,包括如前述权利要求中任一项限定的振荡器或振荡器系统作为时基。

21. 如权利要求20所述的计时装置,其中,所述计时装置是腕表或计时器。

## 机械的各向同性谐波振荡器和振荡器系统

### [0001] 对应申请

[0002] 本PCT申请要求下列在先申请的优先权,2014年1月13日提交的EP 14150939.8,2014年6月25日提交的EP 14173947.4,2014年9月3日提交的EP 14183385.5,2014年9月4日提交的EP 14183624.7,和2014年12月1日提交的EP14195719.1,所有在先申请都以洛桑联邦理工学院 (EPFL) 的名义提交,所有这些在先申请的内容都通过引用的方式全部并入本PCT申请中。

### 技术领域

[0003] 本发明涉及机械的各向同性振荡器和振荡器系统,并且更具体地,涉及没有擒纵机构或具有简化擒纵机构的XY各向同性谐波振荡器。

### 背景技术

#### [0004] 1背景

[0005] 计时装置精度上的最大改进是由于引入振荡器作为时基,首先是在1656年由克里斯蒂安·惠更斯引入钟摆,然后由惠更斯和胡克在大约1675年引入平衡轮-螺旋弹簧,N.Niaudet和L.C.Breguet在1866年引入音叉,见参考文献[20][5]。自那时以来,它们一直是用于机械钟和所有手表中的唯一的机械振荡器。(近似螺旋弹簧的带电磁恢复力的平衡轮被包含在类别平衡轮-螺旋弹簧中)。在机械钟表中,这些振荡器需要擒纵机构,且由于其固有的复杂性及其至多勉强达到40%的相对低的效率,该机构带来许多问题。擒纵机构具有固有的低效率,因为它们基于间歇运动,其中整个运动必须停止和重新启动,导致从静止开始的浪费的加速度和由于冲击引起的噪音。擒纵机构是手表的最复杂和最精密的部分是众所周知的,并且与用于航海天文钟的天文钟擒纵机构相对比,从未有过用于手表的完全令人满意的擒纵机构。

#### [0006] 现有技术

[0007] 1925年12月16日公布的瑞士专利113025披露了驱动振荡机构的过程。该文献提到的目的是用连续调节替代间歇调节,但它没有清楚披露所揭露的原理如何应用于计时装置,如手表。特别是,构造没有被描述为各向同性谐波振荡器,并且所描述的架构不会导致如本发明中的振荡质量体的平面运动。

[0008] 1967年6月27日公布的瑞士专利申请9110/67披露了一种用于计时装置的旋转谐振器。所披露的谐振器包括以悬臂方式安装在中心支撑件上的两个质量体,每个质量体围绕对称轴圆形地振荡。每个质量体通过四个弹簧附连到中心支撑件。每个质量体的弹簧彼此连接以获得质量体的动态耦合。为了维持质量体的旋转振荡,使用了对每个质量体的耳部起作用的电磁装置,耳部包含永久磁体。弹簧之一包括与棘轮合作的棘爪,以便将质量体的振荡运动转变为单向旋转运动。因此,所披露的系统仍然基于通过棘爪将振荡(其是间歇运动)转变为旋转,这使得该公开文献的系统相当于本领域中已知的和上面引用的擒纵机构系统。

[0009] 1971年5月14日公布的瑞士增补专利512757涉及用于计时装置的机械式旋转谐振器。该专利主要涉及在这种谐振器中使用的弹簧的描述,如在上面讨论的瑞士专利申请9110/67中所披露的。因而在这里,谐振器的原理再次使用了绕轴线振荡的质量体。

[0010] 1967年5月9日公布的美国专利3318087披露了围绕垂直轴线振荡的扭转振荡器。同样,其类似于现有技术的和如上所述的擒纵机构。

## 发明内容

[0011] 因而本发明的目的是改进已知的系统和方法。

[0012] 本发明的另一个目的是提供一种避免现有技术中已知的擒纵机构的间歇运动的系统。

[0013] 本发明的另一个目的是提出一种机械式各向同性谐波振荡器。

[0014] 本发明的另一个目的是提供一种可以在不同的与时间相关的应用中使用的振荡器,如:用于计时器的时基,计时装置(如手表),加速计,调速器。

[0015] 通过完全消除擒纵机构,或者备选地通过一系列不具有当前手表擒纵机构的缺点的新的简化擒纵机构,本发明解决了擒纵机构的问题。

[0016] 结果是具有增加的效率的简化的机构。

[0017] 在一个实施方案中,本发明涉及一种机械式各向同性谐波振荡器,至少包括二自由度联动装置,其利用弹簧相对于固定基部支撑轨道运动质量体,弹簧具有各向同性和线性恢复力的特性。

[0018] 在一个实施方案中,振荡器可以基于形成二自由度联动装置的XY平面弹簧级,其导致轨道运动质量体的纯粹平移的运动,以使得质量体沿着它的轨道行进,同时保持固定的取向。

[0019] 在一个实施方案中,每个弹簧级可以包括至少两个平行的弹簧。

[0020] 在一个实施方案中,每个级可以由具有串联安装的两个平行弹簧级的复合平行弹簧级构成。

[0021] 在一个实施方案中,振荡器可以包括用于各自自由度的至少一个补偿质量体,其动态地平衡振荡器。质量体移动以使得整个机构的重心保持不动。

[0022] 在一个实施方案中,本发明涉及包括如本申请中定义的至少两个振荡器的振荡器系统。在一变型中,系统包括四个振荡器。

[0023] 在一个实施方案中,由振荡器形成的每个级相对于紧挨着它的级旋转一角度并且所述级平行安装。优选地,但并不限于此,所述角度为 $45^\circ$ 、 $90^\circ$ 或 $180^\circ$ 或另一个值。

[0024] 在一个实施方案中,由振荡器形成的每个级相对于紧挨着它的级旋转一角度并且所述级串联安装。优选地,但并不限于此,所述角度为 $45^\circ$ 、 $90^\circ$ 或 $180^\circ$ 或另一个值。

[0025] 在一个实施方案中,振荡器的X和Y平移可以通过广义坐标来代替,其中X和Y可以是旋转或平移。

[0026] 在一个实施方案中,振荡器或振荡器系统可以包括用于向振荡器或振荡器系统进行连续机械能量供应的机构。

[0027] 在振荡器或振荡器系统的一个实施方案中,用于能量供应的机构向振荡器或向振荡器系统施加转矩或间歇力。

[0028] 在一个实施方案中,所述机构可以包括可变半径曲柄和棱柱接头,可变半径曲柄通过枢轴绕固定框架旋转,棱柱接头允许曲柄末端以可变半径旋转。

[0029] 在一个实施方案中,所述机构可以包括保持曲轴的固定框架,在其上施加保持转矩,附连到曲轴并配备有棱形槽的曲柄,其中刚性销固定到振荡器或振荡器系统的轨道运动质量体,其中所述销接合在所述槽中。

[0030] 在一个实施方案中,所述机构可以包括用于向振荡器进行间歇机械能量供应的天文钟擒纵机构。

[0031] 在一个实施方案中,天文钟擒纵机构包括被固定到轨道运动质量体的两个平行的捕捉件,藉此一个捕捉件使以弹簧为枢轴转动的掣子移位以释放擒纵轮,和藉此所述擒纵轮脉冲式推在另一个捕捉件上,从而使失去的能量恢复到振荡器或振荡器系统。

[0032] 在一个实施方案中,本发明涉及一种计时装置,例如钟,其包括如本申请中定义的振荡器或振荡器系统。

[0033] 在一个实施方案中,计时装置是腕表。

[0034] 在一个实施方案中,本申请中限定的振荡器或振荡器系统被用作用于测量秒的片段的计时器的时基,其只需要扩展的速度倍增齿轮组,例如以获得100Hz频率以便测量1/100秒。

[0035] 在一个实施方案中,本申请中限定的振荡器或振荡器系统被用作用于自鸣钟或音乐钟和手表以及音乐盒的速度调节器,从而消除不需要的噪音并降低能耗,并且还提高了音乐或自鸣的节奏稳定性。

[0036] 这些实施方案和其他实施方案将在下面的发明描述中更详细地描述。

## 附图说明

[0037] 从下面的描述和附图,本发明将被更好地理解,附图表示

[0038] 图1表示具有平方反比定律的轨道;

[0039] 图2表示根据虎克定律的轨道;

[0040] 图3表示胡克定律的物理实现的例子;

[0041] 图4表示锥摆原理;

[0042] 图5表示锥摆机构;

[0043] 图6表示由Antoine Breguet作出的Villarceau调节器;

[0044] 图7表示被弹拨的弦的奇点的传播;

[0045] 图8表示在转盘上的旋转弹簧;

[0046] 图9表示具有轴向弹簧和支撑件的各向同性振荡器;

[0047] 图10表示具有双片簧的各向同性振荡器;

[0048] 图11表示包括两个串联柔顺四连杆机构的XY级;

[0049] 图12表示包括四个平行臂和波纹管的XY级,四个平行臂与八个球形接头连接,波纹管基于挠曲件将移动平台连接到地面和整体构造;

[0050] 图13表示连续施加以维持振荡器能量的转矩;

[0051] 图14表示间歇地施加以维持振荡器能量的力;

[0052] 图15表示经典的天文钟擒纵机构;

- [0053] 图16表示简单的平面各向同性弹簧；
- [0054] 图17表示一阶平面各向同性胡克定律；
- [0055] 图18表示在两个弹簧上具有相等重力分布的替代构造中的简单的平面各向同性弹簧；
- [0056] 图18A表示由根据本发明的平面各向同性弹簧构成的振荡器的实施方案的基本例子；
- [0057] 图19表示2自由度的平面各向同性弹簧构造；
- [0058] 图20表示对于平面各向同性弹簧在所有方向上的重力补偿；
- [0059] 图21表示在平面各向同性弹簧的所有方向上的重力补偿,其对角加速度具有增大的阻力；
- [0060] 图22表示在平面各向同性弹簧的所有方向上的重力补偿的实现方式,其使用了挠曲件；
- [0061] 图23表示在平面各向同性弹簧的所有方向上的重力补偿的替代实现方式,其使用了挠曲件；
- [0062] 图24表示在平面各向同性弹簧的所有方向上的重力补偿的第二替代实现方式,其使用了挠曲件；
- [0063] 图25表示用于维持振荡器能量的可变半径曲柄；
- [0064] 图26表示附连到振荡器的用于维持振荡器能量的可变半径曲柄的实现方式；
- [0065] 图27表示用于维持振荡器能量的可变半径曲柄的基于挠曲件的实现方式；
- [0066] 图28表示用于维持振荡器能量的可变半径曲柄的基于挠曲件的实现方式；
- [0067] 图29表示用于维持振荡器能量的可变半径曲柄的基于挠曲件的替代实现方式；
- [0068] 图30表示完整的组装好的各向同性振荡器的一个例子；
- [0069] 图31表示图30的振荡器的局部视图；
- [0070] 图32表示图31的振荡器的另一个局部视图；
- [0071] 图33表示图32的机构的局部视图；
- [0072] 图34表示图33的机构的局部视图；
- [0073] 图35表示图34的机构的局部视图；
- [0074] 图36表示用于各向同性谐波振荡器的简化的经典的天文钟手表擒纵机构；
- [0075] 图37表示用于平移轨道运动质量体的天文钟擒纵机构的实施方案；
- [0076] 图38表示用于平移轨道运动质量体的天文钟擒纵机构的另一个实施方案；
- [0077] 图39表示柔顺XY级的例子；
- [0078] 图40表示柔顺接头的实施方案；
- [0079] 图41表示具有两个柔顺接头的二自由度各向同性弹簧的实施方案；
- [0080] 图42表示将减小的质量的各向同性缺陷减到最小的本发明的实施方案；
- [0081] 图43、44和45表示平面内正交的得到补偿的平行弹簧级的实施方案；
- [0082] 图46表示将减小的质量的各向同性缺陷减到最小的实施方案；
- [0083] 图47表示根据本发明的平面外正交的得到补偿的各向同性弹簧的实施方案；
- [0084] 图48表示三维各向同性弹簧的实施方案；
- [0085] 图49A和49B表示具有不同轨道位置的动态平衡的各向同性弹簧的实施方案；

- [0086] 图50A和50B表示具有相同轨道位置的动态平衡的各向同性弹簧的实施方案；
- [0087] 图51表示具有广义坐标X旋转和Y旋转的XY各向同性谐波振荡器的实施方案；
- [0088] 图52表示具有广义坐标X旋转和Y旋转的XY各向同性谐波振荡器的脉冲销的球形路径；
- [0089] 图53表示具有广义坐标X旋转和Y旋转的XY各向同性谐波振荡器的在平面坐标中的脉冲销的椭圆形路径；
- [0090] 图54表示具有广义坐标X平移和Y旋转的XY各向同性谐波振荡器的实施方案；
- [0091] 图55表示用于改善刚度各向同性的两个相同的XY平行弹簧振荡器的平行组件；
- [0092] 图56表示用于改进刚度各向同性的两个相同的XY复合平行弹簧振荡器的平行组件；
- [0093] 图57表示动态平衡的各向同性弹簧的实施方案；
- [0094] 图58表示旋转的弹簧；
- [0095] 图59表示在椭圆轨道中绕轨道旋转的物体；
- [0096] 图60表示在椭圆轨道中绕轨道平移而不旋转的物体；
- [0097] 图61示出了如何通过用各向同性振荡器和传动曲柄替代当前的游丝和擒纵机构而将我们的振荡器集成到标准的机械表或钟的机芯中；
- [0098] 图62表示用于改进刚度各向同性的两个相同的XY平行弹簧振荡器的串联组件；
- [0099] 图63表示用于改进刚度各向同性和增大行程的两个相同的XY复合平行弹簧振荡器的串联组件。

## 具体实施方式

[0100] 2本发明的概念基础

[0101] 2.1牛顿的等时太阳系

[0102] 正如众所周知的,在1687年,艾萨克·牛顿出版了数学原理,其中他证明了行星运动的开普勒定律,特别是第一定律和第三定律,第一定律陈述了行星以太阳为中心进行椭圆形运动,第三定律陈述了行星的轨道周期的平方与其轨道的半长轴的立方成正比,见参考文献[19]。

[0103] 不太众所周知的是,在同一本著作的卷I,命题X中,他表明,如果引力的平方反比定律(见图1)被用线性吸引有心力替代(因为所谓的胡克定律,见图2和3),那么行星运动将被太阳在椭圆形中心的椭圆轨道替代且轨道周期对于所有椭圆轨道都是相同的。(在两个定律中椭圆的出现现在被理解为是由于相对简单的数学上的等价,见参考文献[13],并且这两种情况是导致封闭轨道的唯一有心力定律也是公知的,见参考文献[1])。

[0104] 牛顿的结果对胡克定律是很容易验证的:考虑一个在两个维度上运动的受到有心力的质点

[0105]  $F(r) = -kr$

[0106] 以原点为中心,其中 $r$ 是质点的位置,则对于质量为 $m$ 的物体,其具有解法

[0107]  $(A_1 \sin(\omega_0 t + \phi_1), A_2 \sin(\omega_0 t + \phi_2))$ ,

[0108] 常数 $A_1, A_2, \phi_1, \phi_2$ 取决于初始条件和频率

$$[0109] \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}.$$

[0110] 这不仅表明轨道是椭圆形的,而且表明运动周期只取决于质量 $m$ 和有心力的刚性 $K$ 。因此,该模型显示了等时性,因为周期

$$[0111] \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

[0112] 独立于质点的位置和动量(牛顿证明的开普勒第三定律的模拟)。

[0113] 2.2作为计时装置的时基的实现

[0114] 等时性意味着作为本发明的可能的实施方案,该振荡器是用于计时装置的时基的很好的候选。

[0115] 此前这一一直未在文献中被做到或提到,将该振荡器用作时基是本发明的实施方案。

[0116] 该振荡器也被称为谐波各向同性振荡器,其中术语各向同性是指“在所有方向上都相同”。

[0117] 尽管自1687年以来已知且以其理论简单而闻名,但是各向同性谐波振荡器,或简称为“各向同性振荡器”,似乎以前从未用作手表或钟的时基,这需要解释。

[0118] 主要的原因似乎是恒速机构如调节器或调速器上的固定,和锥摆作为恒速机构的有限角度。

[0119] 例如,在利奥波德·德福塞兹(Leopold Defossez)的具有近似等时性的潜力的锥摆的描述中,他表明了其测量比其周期小得多的非常小的时间间隔的应用,见参考文献[8,第534页]。

[0120] H·布埃斯(H.Bouasse)将其书的一章致力于包括其近似等时性的锥摆,见参考文献[3,VIII章]。他将该章的一节致力于利用锥摆测量秒的片段(他假定周期为2秒),指出该方法似乎是完美的。然后,他通过指明平均精度和瞬时精度之间的差异来使其合格,并承认由于难以调节机构,锥摆的旋转在小的时间间隔上可能不是恒定的。因此,他将周期内的变化看作锥摆的缺陷,这意味着他认为在完美的条件下,锥摆应该以恒定速度运行。

[0121] 类似地,在他的连续-间歇运动的讨论中,鲁伯特·古尔德(Rupert Gould)忽略了各向同性振荡器,其对连续运动计时装置的唯一参考是维亚索(Villarceau)调节器,他声明:“似乎已经给出了良好的效果,但不可能比普通的优质驱动钟或计时器更精确”,见参考文献[9,20-21]。古尔德(Gould)的结论被由宝玑(Breguet)给出的维亚索(Villarceau)调节器数据所验证,见参考文献[4]。

[0122] 从理论的角度来看,有詹姆斯·克拉克·麦克斯韦的非常有影响力的论文On Governors,其被认为是现代控制理论的灵感之一,见参考文献[18]。

[0123] 此外,等时性需要真正的振荡器,其必须保持所有速度变化。其原因在于波动方程

$$[0124] \quad \nabla^2 \vec{X} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{X}}{\partial t^2}$$

[0125] 通过传播它们而保持所有初始条件。因此,真正的振荡器必须保留它的所有速度扰动的记录。由于这个原因,本文所描述的发明允许振荡器的最大振幅变化。

[0126] 这正好与必须衰减这些扰动的调节器相反。原则上,人们可以通过消除导致速度调节的阻尼机构而获得各向同性振荡器。

[0127] 结论是各向同性振荡器还没有被用作时基,因为似乎一直有概念上的障碍,其使各向同性振荡器与调节器相象,忽略了简单的说明,即准确计时只要求在单个完整周期上而非在所有较小时间间隔上的恒定时间。

[0128] 我们主张:该振荡器在理论和功能上完全不同于锥摆和调节器,看本描述部分的下文。

[0129] 图4表示锥摆的原理,图5表示典型的锥摆机构。

[0130] 图6表示由安东尼·宝玑(Antoine Breguetin)在十九世纪七十年代制造的维亚索(Villarceau)调节器,图7被弹拨的弦的奇点的传播。

[0131] 2.3 旋转—平移轨道运动

[0132] 具有单方向运动的两种各向同性谐波振荡器是可能的。一种采取在其末端具有物体的线性弹簧,且使弹簧和物体围绕固定的中心旋转。这在图58中示出:旋转的弹簧。带有附连到其末端的物体862的弹簧861被固定到中心860并围绕该中心旋转,从而使物体862的质心具有轨道864。每沿轨道环行一周,物体862就绕其质心旋转一次,如可以通过指针863的旋转所看到的。

[0133] 这导致物体绕其质心旋转,每绕轨道转动一圈就旋转一周,如图59中所示:旋转的轨道的例子。物体871围绕点870进行轨道运动,并对于每个完整的轨道围绕其轴线旋转一次,如可通过点872的旋转所看出的。

[0134] 这种弹簧将被称为旋转的各向同性振荡器并且将在第4.1节中描述。在这种情况下,物体的惯性力矩影响动态,因为物体正围绕其本身旋转。

[0135] 另一种可能的实现方式具有由中心各向同性弹簧支撑的质量体,如第4.2节中描述的。在这种情况下,这导致物体不围绕其质心旋转,我们将这种轨道运动称为平移。这在图60中示出:平移的轨道。物体881围绕中心880进行轨道运动,沿轨道883移动,但没有围绕其重心旋转。其朝向保持不变,如物体上的指针882的恒定方向所示。

[0136] 在这种情况下,质量体的惯性力矩不会影响动态。

[0137] 2.4 在标准机械机芯中各向同性谐波振荡器的集成

[0138] 我们的使用各向同性振荡器的时基将调节机械计时装置,并且这可以通过简单地用各向同性振荡器和具有曲柄的擒纵机构替代平衡轮和螺旋弹簧振荡器来实现,其中所述曲柄固定到齿轮组的最后一个轮。这在图61中示出:左边是传统的情况。主发条900通过齿轮组901将能量传递到擒纵轮902,擒纵轮902通过锚固件904间歇地将能量传递到平衡轮905。在右边是我们的机构。主发条900通过齿轮组901将能量传递到曲柄903,曲柄903通过在该曲柄上的狭槽中行进销907连续地将能量传递到各向同性振荡器906。各向同性振荡器附连到固定框架908,其恢复力的中心与曲柄小齿轮的中心重合。

[0139] 3. 物理实现的理论要求

[0140] 为了实现各向同性谐波振荡器,按照本发明,需要中心恢复力的物理结构。首先注意到,关于中心恢复力移动的质量体的理论使得所得到的运动位于平面中。我们可以得出结论,为了实践的原因,所述物理结构应该实现平面的各向同性。因此,本文中描述的结构和实施方案将主要是平面的各向同性,但并不限于此实施方案,并且也将有3维各向同性的

例子。

[0141] 为了物理实现以产生用于时基的等时轨道,必须尽可能紧密地追随上面第2节的理论模型。弹簧刚度 $k$ 不依赖于方向并且是常数,即不依赖于径向位移(线性弹簧)。在理论上,存在质点,因而质点在不旋转时具有 $J=0$ 的惯性力矩。减小的质量 $m$ 是各向同性的并且也不依赖于位移。所得到的机构应该对重力不敏感并且对线性震动和角震动不敏感。因此,条件是

[0142] 各向同性的 $k$ . 弹簧刚度 $k$ 各向同性(不依赖于方向)。

[0143] 径向的 $k$ . 弹簧刚度 $k$ 不依赖于径向位移(线性弹簧)。

[0144] 零 $J$ . 具有惯性力矩 $J=0$ 的质量 $m$ 。

[0145] 各向同性的 $m$ . 减小的质量 $m$ 各向同性(不依赖于方向)。

[0146] 径向的 $m$ . 减小的质量 $m$ 不依赖于径向位移。

[0147] 重力. 对重力不敏感。

[0148] 线性震动. 对线性震动不敏感。

[0149] 角震动. 对角震动不敏感。

[0150] 4各向同性谐波振荡器的实现

[0151] 平面的各向同性可以用两种方式实现。

[0152] 4.1旋转的弹簧导致旋转的各向同性振荡器

[0153] A.1.图8中示出了旋转转盘1,其上固定着刚度为 $k$ 的弹簧2,弹簧的中性点在转盘的旋转中心。假设转盘1和弹簧2没有质量,通过该机构实现线性中心恢复力。然而,考虑到转盘和弹簧的物理现实,这种实现的缺点是具有显著的假的质量和惯性力矩。

[0154] A.2.在图9中示出了被支撑在轴向地转动的笼状件4中的旋转的悬臂弹簧3。这再次实现了中心线性恢复力,但通过具有圆柱形的质量和轴向弹簧,减小了假性惯性力矩。数值模拟表明,等时性的发散性仍然是显著的。已经构造了物理模型,见图10,其中通过将质量体附连到双片簧504、505,质量体503的垂直运动被减到最小,产生近似线性的位移而不是图9的单个弹簧的近似圆形的位移。旋转框架501通过各向同性轴承502连接到固定的基部506。

[0155] 注意,当重力在轴向方向上时,重力不影响弹簧。然而,这些实现方式的缺点是具有弹簧及其支撑件,它们都围绕它们自身的轴旋转,这引入了假性惯性力矩项,其降低了模型的理论等时性。实际上,考虑到质量体 $m$ 的质点和因而包括惯性力矩 $I$ 的各向同性支撑和恒定的总角动量 $L$ ,因而如果忽略摩擦,运动方程简化成

$$[0156] \quad \ddot{r} + \left( \omega_0^2 - \frac{L^2}{(I + mr^2)^2} \right) r = 0.$$

[0157] 这个方程可以根据雅各比椭圆函数和根据第一类椭圆积分表示的周期而被明确地解出,见参考文献[17],用于对力学的定义和类似应用。这些解法的数值分析表明,等时性的发散性是显著的,除非惯性力矩 $I$ 被减到最小。

[0158] 现在我们列出了适用于这些实现方式的第3节的理论特性。特别是,对于旋转的悬臂弹簧。

	各向同性的 $k$	径向的 $k$	零 $J$	各向同性的 $m$	径向的 $m$	重力	线性震动	角震动
[0159]	是	是	否	是	是	一个方向	否	否

[0160] 4.2具有平移轨道的各向同性弹簧

[0161] 似乎最适合保持谐波振荡器的理论特性的实现方式是通过各向同性弹簧实现中心力的实现方式,其中术语各向同性再次用来意指“在所有方向上相同”。

[0162] 简单的例子在图16中给出,其示出了简单的平面的各向同性弹簧,其中进行轨道运动的质量体10,y-坐标弹簧11,x-坐标弹簧12,y-弹簧固定到地面13,x-弹簧固定到地面14,水平地面15,y轴是垂直的,因此平行于重力的力。在该图中,刚性为 $k$ 的两个弹簧 $S_{x12}$ 和 $S_{y11}$ 被放置成使得弹簧 $S_{x12}$ 在水平的x轴上行动,而弹簧 $S_{y11}$ 在垂直的y轴上行动。质量体10附连到这两个弹簧11、12并且具有质量 $m$ 。几何形状选择成使得在点(0,0),两个弹簧处于它们的中性位置中。

[0163] 现在可以证明该机构展现了一阶各向同性,如图17中所示。现在假设小位移 $dr = (dx, dy)$ ,则直到一阶,有 $-k dx$ 的x方向上的恢复力 $F_x$ 和 $-k dy$ 的y方向上的恢复力 $F_y$ 。这给出了总的恢复力

$$[0164] \quad F(dr) = (-k dx, -k dy) = -k dr$$

[0165] 并且验证了第2节的中心线性恢复力。我们可以得出结论,直到一阶,这个机构是中心线性恢复力的实现方式,如所要求保护的。

[0166] 在这些实现方式中,重力在所有方向上影响弹簧11、12,因为它改变了有效弹簧常数。然而,弹簧11、12不绕其自身轴线旋转,将假性惯性力矩减到最小,并且中心力由弹簧本身直接实现。现在我们列出了适用于这些实现方式的第3节的理论特性(直到一阶)。

	各向同性的 $k$	径向的 $k$	零 $J$	各向同性的 $m$	径向的 $m$	重力	线性震动	角震动
[0167]	是	是	是	是	是	否	否	否

[0168] 已经提出了许多平面弹簧,并且如果有的可能是隐含地各向同性的,但还没有一个被明确声明为各向同性的。在文献中,Simon Henein[见参考文献14,166、168页]提出了展示出平面各向同性的两种机构。但是这些例子,以及上面刚描述的例子,没有如在本文中描述的本发明的可能的实施方案那样展示出足够的各向同性以制造用于计时装置的精确时基。

[0169] 在图11中所示的实施方案包括两个串联柔顺的四连杆5,也被称为平行臂联动装置,对于小的位移,该装置允许在X和Y方向上的平移。图12中所示的另一个实施方案包括与八个球形接头7连接的四个平行臂6和将移动平台9连接到地面的中心波纹管8。

[0170] 因此,更精确的各向同性弹簧已经研制出来。特别是,精度得到了极大的改善,这是本申请中描述的几个实施方案的主题。

[0171] 在这些实现方式中,弹簧不绕其自身轴线旋转,将假性惯性力矩减到最小,并且中心力由弹簧本身直接实现。这些被命名为各向同性弹簧,因为它们的恢复力在所有方向上是相同的。

[0172] 根据本发明的由平面各向同性弹簧构成的振荡器的实施方案的基本例子在图18A中示出。所述图示出了机械的各向同性谐波振荡器,其至少包括通过合适的引导装置(例如

滑动装置,或联动装置,弹簧等)构成的二自由度联动装置L1/L2,其利用弹簧S相对于固定基部B支撑轨道运动质量体P,弹簧S具有各向同性和线性恢复力K的特性。

#### [0173] 5补偿机构

[0174] 为了将新的振荡器置于如本发明的示范性实施方案的便携式计时装置中,必需处理能影响振荡器的正确功能的力。这些力包括重力和震动。

#### [0175] 5.1重力的补偿

[0176] 处理重力的第一种方法是形成平面各向同性弹簧,其在相对于重力处于水平位置中时不会感到其影响。

[0177] 图19表示这种弹簧设置作为2自由度平面各向同性弹簧结构的例子。在这种设计中,当机构的平面水平地放置时,重力对轨道运动质量体的平面运动的影响可以忽略。这提供了重力效应的单个方向的最小化。它包括固定基部20,中间块21,保持轨道运动质量体的框架22,轨道运动质量体23,y轴平行弹簧级24和x轴平行弹簧级25。

[0178] 然而,这仅仅适合静止的钟/手表。对于便携式计时装置,需要进行补偿。这可以通过制作振荡器的拷贝并通过球窝接头或万向接头连接两个拷贝来实现,如图20中所示。在图20的实现方式中,整个机构的重心保持固定。具体地,图20表示在平面各向同性弹簧的所有方向上的重力补偿。刚性框架31保持住时基,时基包括两个相连的非独立的平面各向同性振荡器32(这里象征性地示出)。杆33通过球窝接头34(或XY万向接头)附连到框架31。由于两个棱柱接头35,杆的两个臂是可伸缩的。杆33的相对的端部通过球窝接头附连到轨道运动质量体36。该机构相对于接头34中心处的点0是对称的。

#### [0179] 5.2线性加速度的动态平衡

[0180] 线性震动是线性加速度的形式,因此包括作为特例的重力。因此,图20的机构也补偿线性震动。

#### [0181] 5.3角加速度的动态平衡

[0182] 通过改变图20中所示的在前的节的机构而减小两个质量体的重心之间的距离,如图21中所示,可以将由角加速度引起的的影响减到最小。分开两个重心的在图21中所示的距离“1”的精确调节允许完全补偿角震动,包括考虑杆本身的惯性力矩。这仅考虑了所有可能的旋转轴的角加速度,除了我们的振荡器的旋转轴上的角加速度之外。

[0183] 具体地,图21表示在平面各向同性弹簧的所有方向上的重力补偿,其对角加速度具有增大的阻力。这通过将两个轨道运动质量体的重心之间的距离“1”最小化来实现。刚性框架41保持住时基,时基包括两个相连的非独立的平面各向同性振荡器42(这里象征性地示出)。杆43通过球窝接头47(或x-y万向接头)附连到框架41。由于两个棱柱接头48,杆43的两个臂是可伸缩的。杆43的相对的端部通过球窝接头49附连到轨道运动质量体46。该机构相对于接头47中心处的点0是对称的。

[0184] 图22表示在平面各向同性弹簧的所有方向上的重力补偿的实现方式的另一个实施方案,其使用了挠曲件。在本实施方案中,刚性框架51保持住时基,时基包括两个相连的非独立的平面各向同性振荡器53(这里象征性地示出)。杆54通过由片簧56和柔性杆57构成的x-y万向接头附连到框架52。由于两个片簧55,杆54的两个臂是可伸缩的。杆54的相对的端部通过形成两个x-y万向接头的两个片簧55附连到轨道运动质量体52。

[0185] 图23表示在平面各向同性弹簧的所有方向上的重力补偿的替代实现方式,其使用

了挠曲件。在这个变型中,杆64的两端通过两个垂直的柔性杆61连接到轨道运动质量体62,轨道运动质量体62连接到振荡器中的弹簧63。

[0186] 图24表示在各向同性弹簧的所有方向上的重力补偿的另一种实现方式,其使用了挠曲件。在本实施方案中,固定板71保持住时基,时基包括两个相连的对称放置的非独立轨道运动质量体72。每个轨道运动质量体72通过三个平行杆73附连到固定基部,这些杆是柔性杆或刚性杆,在每个末端有球窝接头74。杆75通过膜柔性接头(未标号)和垂直的柔性杆78附连到固定基部,由此形成万向接头。杆75的末端经由两个柔性膜77附连到轨道运动质量体72。部件79刚性地附连到部件71。部件76和80刚性地附连到杆75。

[0187] 6维持和计算

[0188] 振荡器由于摩擦而损失能量,所以需要维持振荡器能量的方法。为了显示由振荡器记录的时间,还必须有计算振荡的方法。在机械钟表里,这由擒纵机构实现,擒纵机构是振荡器和计时装置的其余部分之间的接口。擒纵机构的原理在图15中示出,并且此类装置在表的行业中是众所周知的。

[0189] 在本发明的情况下,提出了两个主要方法来实现这一点:没有擒纵机构和具有简化的擒纵机构。

[0190] 6.1没有擒纵机构的机械装置

[0191] 为了维持各向同性谐波振荡器的能量,施加转矩或力,参见用于说明被连续施加以维持振荡器能量的转矩T的一般原理的图13,而图14表示另一个原理,其中力 $F_T$ 被间歇地施加以维持振荡器能量。实际上,在目前的情况下,还需要一机构以将合适的转矩传递到振荡器以维持能量,在图25至29中示出了用于此目的的根据本发明的各种曲柄实施方案。图37和38表示用于同样目的的擒纵机构。所有这些恢复能量机构可以与本文中,例如在图19至24、30至35(如图30中所示的机构138)和40至48中,所描述的振荡器和振荡器系统(级等)的各种实施方案结合使用。典型地,在振荡器被用作计时装置特别是手表的时基的本发明的实施方案中,可以通过手表的弹簧施加转矩/力,该弹簧与擒纵机构结合使用,如在手表领域中已知的。因此在该实施方案中,已知的擒纵机构可以被本发明的振荡器替代。

[0192] 图25表示用于维持振荡器能量的可变半径曲柄的原理。曲柄83通过枢轴82绕固定框架81旋转。棱柱接头84允许曲柄末端以可变半径旋转。时基的轨道运动质量体(未示出)通过枢轴85附连到曲柄末端84。因此曲柄机构使轨道运动质量体的取向保持不变并且振荡能量由曲柄83维持。

[0193] 图26表示附连到振荡器的用于维持振荡器能量的可变半径曲柄的实现方式。固定框架91保持住曲轴92,维持力矩M施加在曲轴92上。曲柄93附连到曲轴92并配有棱形槽93'。刚性销94固定到轨道运动质量体95并接合在槽93'中。平面各向同性弹簧由96表示。在该图26中示出了顶视图和透视分解图。

[0194] 图27表示用于维持振荡器能量的可变半径曲柄的基于挠曲件的实现方式。曲柄102通过轴105绕固定框架(未示出)旋转。两个平行的柔性杆103将曲柄102连接到曲柄末端101。枢轴104将图27中所示的机构附连到轨道运动质量体。在该图27中,机构被表示为处于中性奇异位置中。

[0195] 图28表示用于维持振荡器能量的可变半径曲柄的基于挠曲件的实现方式的另一个实施方案。曲柄112通过轴115绕固定框架(未示出)旋转。两个平行的柔性杆113将曲柄

112连接到曲柄末端111。枢轴114将所示的机构附连到轨道运动质量体。在该图28中,机构被表示为处于弯曲位置中。

[0196] 图29表示用于维持振荡器能量的可变半径曲柄的基于挠曲件的替代实现方式。曲柄122通过轴绕固定框架121旋转。两个平行的柔性杆123将曲柄122连接到曲柄末端124。枢轴126将机构附连到轨道运动质量体125。在该方案中,柔性杆123对于平均轨道半径最小限度地弯曲。

[0197] 图30表示完全组装好的各向同性振荡器131-137及其能量维持机构的例子。更具体地,固定框架131通过三个刚性脚140和顶部框架140a附连至地面或固定参考物(例如振荡器安装在其上或其中的物体)。第一复合平行弹簧级131保持住第二平行弹簧级132,其正交于弹簧级131地移动。复合平行弹簧132刚性地附连到级131。第四复合平行弹簧级134保持住第三平行弹簧级133,其正交于弹簧级134地移动。级133和134的外部框架在x和y方向上通过L形支架135和136以及通过带凹口的片簧137运动学上地连接。级133和134的两个外部框架构成振荡器的轨道运动质量体,而级132-133附连在一起并固定到脚140,因而轨道运动质量体相对于级132-133移动。可替代地,运动的质量体可以由级132-133形成,在这种情况下,级131和134固定到脚140。

[0198] 安装在轨道运动质量体上的支架139保持住刚性销138(在图30和31中示出),通过与上面参照附图25-29所描述的装置相同或等同的装置,维持力例如转矩或力施加到刚性销138上。

[0199] 每个级131-134例如可以如图19中或稍后在本文中更详细地论述的图42至47中所示地形成。因此,这些附图的描述适用于在这些图30-35中所示的级131-134。如下面将要描述的,为了进行补偿,级131和132(相应地133和134)是相同的,但放置成相对旋转(特别是 $90^\circ$ )以形成本文所讨论的XY平面各向同性弹簧。

[0200] 图31表示图30的同一实施方案,并且示出了刚性销138,其刚性地安装在轨道运动质量体(级134和131,例如如上文中提到的)上并且接合在槽142中,槽142充当驱动曲柄并维持振荡。其他部件如图30中那样标号并且该图的描述对应地适用。所使用的曲柄系统可以是在图25-29中所示和在上文中描述的曲柄系统。

[0201] 图32示出了图30和31的实施方案的级131-134,没有曲柄系统142-143并且使用图30的附图标记。

[0202] 图33示出了图32的实施方案的级131-133,没有级134并且使用图30的附图标记。

[0203] 图34示出了图33的实施方案的级131-132,没有级133,使用图30的附图标记。

[0204] 图35示出了图34的级131,没有级132,使用图30的附图标记。

[0205] 典型地,每个级131-134可以根据稍后在本说明书中参考图41-48描述的实施方案制造。事实上,图35的级131包括保持住质量体131e的平行弹簧131a至131d,并且所述图41-48的弹簧和质量体可以对应于图30-35中的那些。

[0206] 为了构造图30的振荡器,如上所述,级131和132被放置成在它们之间相对旋转 $90^\circ$ ,并且它们的质量体131e-132e附连在一起(见图34)。这提供的结构相当于稍后描述的在每个方向XY上具有两个平行弹簧的图43的构造。

[0207] 级133和134如级131-132那样附连并且以镜像构造放置在级131-132上方,如级131和132那样,级133包括弹簧133a-133d和质量体133e。级133的位置相对于级132旋转

90°，如可在图33中看到的。级132和133的框架附连在一起以使得它们不会相对于彼此移动。

[0208] 然后，如图32中所示，第四级134相对于级133额外相对旋转90°。级134还包括弹簧134a-134d和质量体134e。质量体134e附连到质量体133e，两个级134和131通过支架135、136连接在一起以形成轨道运动质量体，而附连在一起的级132和133固定到框架140、140a。

[0209] 如图31中所示，用于施加维持力或转矩的机构被放置在级131-134的顶部，并且包括销138和曲柄系统142、143，其例如是图26中描述的系统，图26的销92对应于图31的销138，曲柄93对应于曲柄142，槽93'对应于槽143。

[0210] 当然，图30-34的级131-134可以由根据本发明原理的具有XY平面各向同性的其他等效级替换，例如，可以使用图40至48的构造和示例性实施方案实现本发明的振荡器。

[0211] 6.2广义坐标各向同性谐波振荡器

[0212] 上一节的XY各向同性谐波振荡器可以通过用其他运动特别是旋转替代X平移和Y平移来普及。当被表达为拉格朗日力学中的广义坐标时，理论是相同的，并且该机构将具有与平移XY机构相同的各向同性谐波性质。

[0213] 图51表示具有广义坐标X旋转和Y旋转的XY各向同性谐波振荡器：在固定基部720上附连两个不动梁721，不动梁721通过721处的宝石轴承和螺旋弹簧724支撑旋转笼状件722。平衡轮在笼状件722内，平衡轮被允许旋转并且经由平衡棒（未示出）附连，平衡棒在宝石轴承723上旋转。螺旋弹簧726附连到平衡轮，螺旋弹簧726给平衡轮围绕其轴线的圆形振荡提供恢复力。螺旋弹簧给笼状件722围绕其中性位置的旋转提供恢复力，在中性位置，平衡轮的轴线垂直于基部720。包括笼状件的平衡轮组件的惯性力矩使得平衡轮和弹簧725的固有频率与笼状件和平衡轮和弹簧724的固有频率相同。平衡轮的振荡模拟各向同性谐波振荡器，并且对于小幅度的振荡，平衡轮上的质量体727在近似椭圆形的单向轨道上移动，如图52中所示。与标准的平移XY各向同性振荡器对照，该机构具有对线性加速度和重力不敏感的优点。它的特性是

[0214]	各向同性的 $k$	径向的 $k$	零 $J$	各向同性的 $m$	径向的 $m$	重力	线性震动	角震动
	是	是	是	是	是	是	是	否

[0215] 图52表示被置于图51中的平衡轮上的销具有球体上的大略椭圆形的轨道，这容许该机构被旋转的曲柄维持，如同XY平移各向同性谐波振荡器一样。该图描述了当平衡轮和笼状件振荡时，图51的质量体727的运动。球体734代表了对于平衡轮和笼状件的任意大的振荡，质量体727的所有可能位置的空间。图中所示的是小振荡的情况，其中质量体732沿着周期轨道733绕其中性点731移动。质量体732的角运动始终在相同的角方向上并且不停止。

[0216] 图53表明，如果在平面上绘制X和Y角，则会重新获得与X和Y平移的情况中相同的椭圆形轨道。该图描述了图51的机构的角度参数。质量体741代表图51的质量体727，角 $\theta$ 表示图53的平衡轮相对于其中性位置围绕其轴线旋转的角度，角 $\phi$ 表示图53的笼状件722相对于其中性位置围绕其轴线旋转的角度。在 $\theta-\phi$ 坐标系中，质量体741在周期轨道742上绕其中性点740移动。轨道742是完美的椭圆并且遵循牛顿的结果，所有这种轨道将具有相同的周期。

[0217] 图54表示具有X平移和Y旋转的XY各向同性谐波振荡器。可以看出，平衡轮上的销

具有大致椭圆形的轨道,因此该机构可以通过旋转曲柄来维持,如同XY平移各向同性谐波振荡器的情况一样。两个竖直的不动梁751附连到固定基部750。水平梁(这里是透明的)在两个梁751的顶部,夹持圆柱形弹簧756的夹头附连到水平梁上。圆柱形弹簧756的底部经由夹头附连到笼状件753,容许笼状件经由两个凹槽754在每个竖直支柱751上竖直地平移,凹槽容纳笼状件的轴755。圆柱形弹簧756提供了线性恢复力以产生笼状件的平移振荡。笼状件754包含附连到平衡轮758的螺旋弹簧757。螺旋弹簧向平衡轮提供恢复转矩,这导致平衡轮具有各向同性的振荡。笼状件753的平移振荡的频率设计为等于平衡轮758的角振荡的频率,对于小的振幅,平衡重759进行近似椭圆的单向旋转运动。如果 $x$ 代表笼状件相对于其中性点的垂直位移, $\theta$ 代表平衡轮相对于其中性角的角度,则 $x, \theta$ 代表机构的状态的广义坐标并在状态空间中描述了椭圆形,如用 $x$ 替换 $\phi$ 的情况下在图52中所示。其特性是

[0218]	各向同性的 $k$	径向的 $k$	零 $J$	各向同性的 $m$	径向的 $m$	重力	线性震动	角震动
	是	是	是	是	是	否	否	否

[0219] 6.3简化的擒纵机构

[0220] 使用擒纵机构的优点在于振荡器不会(经由齿轮组)与能量源连续接触,能量源可能是精密记时计的误差的来源。因而擒纵机构是自由擒纵机构,其中对于其振荡的相当大部分是在没有来自擒纵机构的干扰的情况下让振荡器振荡。

[0221] 与平衡轮擒纵机构相比,擒纵机构被简化,因为振荡器在单一方向上转动。由于平衡轮具有来回的运动,所以手表擒纵机构一般需要杠杆以便在两个方向之一上脉冲式推动。

[0222] 直接应用于我们的振荡器的最早的手表擒纵机构是精密计时器或天文钟擒纵机构[6, 224-233]。该擒纵机构可以应用于弹簧掣子或枢转掣子形式中而没有任何改变,除了除去传递簧之外,所述传递簧在普通的手表平衡轮的相反旋转期间起作用,参见[6, 图471c]。例如,在示出了经典的天文钟擒纵机构的图4中,除了其功能不再被需要的金簧 $i$ 之外,整个机构都被保留。

[0223] H. Bouasse描述了用于锥摆的天文钟擒纵机构[3, 247-248],其与本文中介绍的一种有相似之处。然而, Bouasse认为,向锥摆应用间歇脉冲是错误的。这可能与他的假设有关,即锥摆应该总是以恒定速度工作,如上所述。

[0224] 6.4用于各向同性谐波振荡器的天文钟擒纵机构的改进

[0225] 在图36至38中示出了用于各向同性谐波振荡器的可能的天文钟擒纵机构的实施方案。

[0226] 图36表示用于各向同性谐波振荡器的简化的经典的手表天文钟擒纵机构。由于振荡器的单向转动,用于反向运动的通常的角状掣子一直被压制。

[0227] 图37表示用于平移的轨道运动质量体的天文钟擒纵机构的实施方案。两个平行的捕捉件151和152被固定到轨道运动质量体(未示出,但通过形成圆的箭头示意性地表示,附图标记156),因此具有彼此同步平移的轨迹。捕捉件152使在弹簧155处枢转的掣子154移位,这释放擒纵轮153。擒纵轮脉冲式推在捕捉件151上,恢复振荡器损失的能量。

[0228] 图38表示用于平移轨道运动质量体的新的天文钟擒纵机构的实施方案。两个平行的捕捉件161和162固定到轨道运动质量体(未示出),因此具有彼此同步平移的轨迹。捕捉

162使在弹簧165处枢转的掣子164移位,这释放擒纵轮163。擒纵轮脉冲式推在捕捉件161上,恢复振荡器损失的能量。机构允许轨道半径的变化。在该图38中示出了侧视图和顶视图。

[0229] 图39表示在本文引用的现有技术参考文献中所示的柔顺XY-级的例子。

[0230] 7与以前机构的差别

[0231] 7.1与锥摆的差别

[0232] 锥摆是围绕垂直轴旋转的摆,即垂直于重力,参见图4。锥摆理论最早由克里斯蒂安·惠更斯描述,见参考文献[16]和[7],其表示,如同普通的摆一样,锥摆不是等时的,但在理论上,通过使用柔性绳和抛物面结构,可以被制成等时的。

[0233] 然而,如同普通的摆的摆线夹板(cycloidal cheeks)一样,惠更斯的修改是基于柔性摆的并且实际上并未改进计时装置。锥摆从未被用作精密时钟的时基。

[0234] 不管锥摆用于精密计时的潜力,例如在Defossez对锥摆的描述中,Defossez一贯将锥摆描述为用于获得匀速运动以便精确测量小的时间间隔的方法,见参考文献[8,第534页]。

[0235] Haag已经给出锥摆的理论分析,见参考文献[11][12,第199-201页],和结论,即由于它固有的缺乏等时性,它作为时基的潜力本质上劣于圆形摆。

[0236] 锥摆一直用于精密时钟中,但从来没有被用作时基。特别是,在十九世纪六十年代,William Bond构造了具有锥摆的精密时钟,但其是擒纵机构的一部分,时基是圆形摆,见参考文献[10]和[25,第139-143页]。

[0237] 因此,我们的发明作为时基的选择优于锥摆,因为我们的振荡器具有固有的等时性。此外,我们的发明可以用在手表或其它便携式计时装置上,因为它是基于弹簧的,而对于依赖计时装置的锥摆而言不可能相对于重力具有恒定取向。

[0238] 7.2与调节器的差别

[0239] 调节器是维持恒定速度的机构,最简单的例子是用于蒸汽机的瓦特调速器。在19世纪,这些调节器用于平稳运作(即基于具有擒纵机构的振荡器的钟表机构没有走走停停的间歇式运动)比高精度更重要的应用中。特别是,这种机构需要望远镜以便跟随天球的运动并在比较短的时间间隔上追踪星星的运动。在这种情况下,由于短的使用时间间隔,不需要高精密计时精度。

[0240] 这种机构的例子由Antoine Breguet构建,见参考文献[4],以调节巴黎天文台望远镜,并且理论由Yvon Villarceau描述,见参考文献[24],它基于瓦特调速器并且也是用于维持相对恒定的速度,因此尽管被称为regulateur isochrone(等时调速器),但它不可能是如上所述的真正的等时振荡器。根据Breguet,精度在30秒/天至60秒/天之间,见参考文献[4]。

[0241] 由于由波动方程得出的谐波振荡器的固有性质,见第8节,恒定速度机构不是真正的振荡器,所有这种机构固有地具有有限的精密计时精度。

[0242] 调节器已在精密钟中使用,但从来没有被用作时基。特别是,在1869年,威廉·汤姆森,开尔文勋爵,设计并建造了擒纵机构基于调节器的天文钟,尽管时基是钟摆,见参考文献[23][21,第133-136页][25,第144-149页]。事实上,他的关于钟的通讯标题声明,它拥有“匀速运动”的特点,见参考文献[23],因此其目的明显不同于本发明。

[0243] 7.3与其他连续运动计时装置的差别

[0244] 有至少两种连续运动的手表,其中机构没有间歇的停和走运动,因此没有遭受不必要的重复加速。两个例子是由斯沃琪集团研究实验室(Asulab)研制的所谓萨尔托(Salto)手表,见参考文献[2],和由精工研制的石英机芯(Spring Drive),见参考文献[22]。尽管这两种机构获得了高水平的精密计时精度,但它们与本发明完全不同,因为它们不用各向同性振荡器作为时基,而是依赖于石英音叉的振荡。此外,该音叉需要压电以维持振荡和给振荡计数,并且需要集成电路来控制维持和计数。由于电磁制动,运动的连续运动是唯一可能的,电磁制动再次由集成电路控制,其在内存中也需要高达 $\pm 12$ 秒的缓冲以便修正由震动引起的精密计时误差。

[0245] 我们的发明用机械振荡器作为时基,不需要电或电子设备以便正确操作。运动的连续运动由各向同性振荡器本身而不是通过集成电路调节。

[0246] 8各向同性谐波振荡器的实现

[0247] 在某些在上面已经讨论且在下文中详述的一些实施方案中,本发明被看作实现了用作时基的各向同性谐波振荡器。事实上,为了实现各向同性谐波振荡器作为时基,需要中心恢复力的物理结构。首先注意到,相对于中心恢复力移动的质量体的理论使得所得的运动位于平面中。由此得出结论,即出于实践的原因,物理结构应该实现平面各向同性。因此,这里所描述的结构将主要是平面各向同性的,但并不限于此,并且也将有3维各向同性的例子。平面各向同性可以通过两种方式来实现:各向同性的各向同性弹簧和平移的各向同性弹簧。

[0248] 各向同性的各向同性弹簧具有一个自由度并且随着保持弹簧和质量体的支撑件一起旋转。这种架构自然会导致各向同性。当质量体沿轨道而行时,它以与支撑件相同的角速度绕本身旋转。这导致假性惯性力矩,从而使质量体不再充当质点,并背离在第1.1节中描述的理想模型,因而导致理论上的等时性缺陷。

[0249] 平移的各向同性弹簧具有两个平移自由度,其中质量体不旋转但沿着围绕中性点的椭圆轨道平移。这废除了假性惯性力矩并消除了等时性的理论障碍。

[0250] 9各向同性弹簧的发明

[0251] A.1.如上面已经讨论的,图8中示出了旋转转盘1,其上固定着刚度为 $k$ 的弹簧2,弹簧的中性点在转盘的旋转中心。假设转盘和弹簧没有质量,通过该机构实现线性中心恢复力。然而,考虑到转盘和弹簧的物理现实,这种实现的缺点是具有显著的假的质量和惯性力矩。

[0252] A.2.在上面讨论的图9中示出了被支撑在轴向地转动的笼状件4中的旋转的悬臂弹簧3。这再次实现了中心线性恢复力,但通过具有圆柱形的质量体和轴向弹簧,减小了假性惯性力矩。数值模拟表明,等时性的发散性仍然是显著的。已经构造了物理模型,见图10,其中通过将质量体附连到双片簧,质量体的垂直运动被减到最小,产生近似线性的位移而不是图9的单个弹簧的近似圆形的位移。来自该物理模型的数据与分析模型是一致的。

[0253] 现在我们列出适用这些实现方式的这3节的理论性质。特别是,对于旋转的悬臂弹簧。

	各向同性的 $k$	径向的 $k$	零 $J$	各向同性的 $m$	径向的 $m$	重力	线性震动	角震动
[0254]	是	是	否	是	是	一个方向	否	否

[0255] 注意,当重力在轴向方向上时,重力不影响弹簧。然而,这些实现方式的缺点是具有弹簧及其支撑件,它们都围绕它们自身的轴旋转,这引入了假性惯性力矩项,其降低了模型的理论等时性。实际上,考虑到质量体 $m$ 的质点和因而包括惯性力矩 $I$ 的各向同性支撑和恒定的总角动量 $L$ ,因而如果忽略摩擦,运动方程简化成

$$[0256] \quad \ddot{r} + \left( \omega_0^2 - \frac{L^2}{(I + mr^2)^2} \right) r = 0.$$

[0257] 这个方程可以根据雅各比椭圆函数和根据第一类椭圆积分表示的周期而被明确地解出,见参考文献[17],用于对力学的定义和类似应用。这些解法的数值分析表明,等时性的发散性是显著的,除非惯性力矩被减到最小。

[0258] 10平移的各向同性弹簧:背景

[0259] 在本节中,我们将描述导致我们的各向同性弹簧的主要发明的背景。从现在开始,除非另有说明,“各向同性弹簧”将代表“平面的平移的各向同性弹簧。”

[0260] 10.1各向同性弹簧:技术背景

[0261] 本发明基于柔顺XY级,见参考文献[26,27,29,30],图39表示来自本文中引用的参考文献的架构的例子。柔顺XY级是具有两个自由度的机构,这两个自由度都是平移。由于这些机构包括柔顺接头,见参考文献[28],它们表现出平面恢复力,因此可以被看作平面弹簧。

[0262] 在文献中,Simon Henein,见参考文献[14,第166,168页],提出了表现出平面各向同性的两种XY级。第一种在图11中示出,包括两个串联柔顺四连杆5机构,也被称为平行臂联动装置,对于小的位移,该装置允许在X和Y方向上的平移。第二种在图12中示出,包括与八个球形接头7连接的四个平行臂6和将移动平台9连接到地面的波纹管8。利用与八个球形接头连接的三个平行臂和将移动平台连接到地面的波纹管可以获得相同的结果。

[0263] 10.2各向同性弹簧:最简单的发明和概念描述

[0264] 各向同性弹簧是本发明的一个目标,并且它们似乎最适合于保持谐波振荡器的理论特性,在所述谐波振荡器中,中心力通过各向同性弹簧实现,其中术语各向同性再次用于表示“在所有方向上相同”。

[0265] 在本发明的所有实施方案中使用的基本概念是在一平面中结合两个正交的弹簧,它们理想地应是彼此独立的。这将产生平面各向同性弹簧,如在本节中所说明的。

[0266] 如上所述,在图16中给出了最简单的版本。在该图中,放置了刚度为 $k$ 的两个弹簧11,12  $S_x$ 和 $S_y$ ,弹簧12  $S_x$ 在水平的 $x$ 轴上起作用,弹簧11  $S_y$ 在垂直的 $y$ 轴上起作用。

[0267] 质量体10附连到这两个弹簧并且具有质量 $m$ 。几何形状选择成使得在点(0,0)处,两个弹簧都处于它们的中性位置。

[0268] 现在可以证明,该机构展现了一阶各向同性,见图17。现在假设小位移 $dr = (dx, dy)$ ,则直到一阶,有 $-k dx$ 的 $x$ 方向上的恢复力 $F_x$ 和 $-k dy$ 的 $y$ 方向上的恢复力 $F_y$ 。这给出了总的恢复力

[0269]  $F(d r) = (-k dx, -k dy) = -k d r$

[0270] 并且验证了第2节的中心线性恢复力。我们可以得出结论，直到一阶，这个机构是中心线性恢复力的实现方式，如所要求保护的。

[0271] 在这些实现方式中，重力在所有方向上影响弹簧，因为它改变了有效弹簧常数。然而，弹簧不绕其自身轴线旋转，将假性惯性力矩减到最小，并且中心力由弹簧本身直接实现。现在我们列出了适用于这些实施方案的第3节的理论特性（直到一阶）。

[0272]	各向同性的 $k$	径向的 $k$	零 $J$	各向同性的 $m$	径向的 $m$	重力	线性震动	角震动
	是	是	是	是	是	否	否	否

[0273] 因为计时装置必需是非常精确的，对于10秒/天的精度至少为1/10000，所以各向同性弹簧的实现本身必须是相当精确的。这是本发明的实施方案的主题。

[0274] 因为本发明精密模拟各向同性弹簧并将各向同性缺陷减到最小，本发明支撑的质量体的轨道将精密模拟中性点作为椭圆中心的等时椭圆轨道。图18A是本发明的原理的基本图示（见上文对于它的详细描述）。

[0275] 在下文参考附图40至47揭露的原理可以被应用于在图30至35中示出的和在上面被描述为所述级的可能实施方案的级131-134，如上面已经描述的。

[0276] 10.3平面内正交的无补偿的平行弹簧级

[0277] 通过用如图40中所示的平行弹簧171, 172替换线性弹簧改善了结合两个弹簧的想法，平行弹簧171, 172形成了保持住轨道运动质量体179的弹簧级173。为了得到两个自由度的平面各向同性弹簧，两个平行的弹簧级173, 174（如图40中所示，各自具有平行弹簧171, 172, 175和176）被正交地放置，见图19和41。

[0278] 现在我们列出适用于这些实施方案的第3节的理论特性。

[0279]	各向同性的 $k$	径向的 $k$	零 $J$	各向同性的 $m$	径向的 $m$	重力	线性震动	角震动
[0280]	否	是	是	否	是	一个方向	否	否

[0281] 与具有六个自由度的第11.2节的模型相对照，该模型具有两个自由度。因此，该模型真正是平面的，如第2节的理论模型所要求的。最后，在其平面与重力正交时，这个模型对重力不敏感。

[0282] 我们已经明确地估计了这种机构的各向同性缺陷，我们将利用这一估计与得到补偿的机构的各向同性缺陷进行比较。

[0283] 11将m而不是k的各向同性缺陷减到最小的实施方案

[0284] 中间块的存在导致在不同方向上不同的减小的质量。因此，第2节的理想的数学模型不再有效并且存在理论上的等时性缺陷。在图42中示出的该节的发明将这种不同减到最小。通过堆叠图41的相对于彼此旋转90度（绕z轴的旋转角）的两个相同的平面内正交的平行弹簧级，本发明将减小的质量的各向同性减到最小。

[0285] 在图42中，第一板181安装在第二板182之上。第一板181的块183和184分别固定在第二板182的块185和186上。在上面的两个图中，第一板的灰色阴影块184、187和第二板182的灰色阴影块186具有y位移，其对应于轨道运动质量体189的y位移分量，而第一板181的黑

色阴影块183和第二板182的黑色阴影块185、188保持不动。在下面的图中,第一板181的灰色阴影块184、187和第二板182的灰色阴影块186具有x位移,其对应于轨道运动质量体189的x位移分量,而第一板181和第二板182的黑色阴影块183、185、188保持不动。由于第一和第二板181、182是相同的,所以184、187和186的质量之和等于184、188和186的质量之和。因此,总移动质量(灰色块184、186、187)在x和在y方向上以及在平面的任何方向上对于位移是相同的。

[0286] 由于该构造,在x和y方向上减小的质量是相同的,因而在每个平面方向上是相同的,因此在理论上将减小的质量各向同性缺陷减到最小。

[0287] 现在我们列出适用于这些实施方案的第3节的理论特性。

[0288]	各向同性的 $k$	径向的 $k$	零 $J$	各向同性的 $m$	径向的 $m$	重力	线性震动	角震动
[0289]	否	是	是	是	是	一个方向	否	否

[0290] 12将k而不是m的各向同性缺陷减到最小的实施方案

[0291] 该机构的目的是提供各向同性弹簧刚度。各向同性缺陷,即从完美的弹簧刚度各向同性的改变,在我们的发明中将是被减到最小的因素。将按照复杂性逐渐增加的顺序介绍我们的发明,这对应于导致各向同性缺陷的因素的补偿。

[0292] -平面内正交的得到补偿的平行弹簧级。

[0293] -平面外正交的得到补偿的平行弹簧级。

[0294] 12.1平面内正交的得到补偿的平行弹簧级的实施方案

[0295] 该实施方案示于图43中,图44中给出了顶视图。使用复合平行弹簧级而不是简单的平行弹簧级导致每个级处的直线运动。因此,导致各向同性缺陷的主要的交互耦合效应得到抑制。

[0296] 特别是,图43和44表示根据本发明的平面内正交的得到补偿的平行弹簧级的实施方案。固定的基部191保持住连接到中间块193的第一对平行片簧192,第二对片簧194(平行于192)连接到第二中间块195。中间块195保持住连接到第三中间块197的第三对平行片簧196(正交于弹簧192和194)。中间块197保持住平行片簧198(平行于弹簧196),平行片簧198连接到轨道运动质量体199或替代地连接到保持住轨道运动质量体199的框架。

[0297] 现在我们列出适用于这些实施方案的第3节的理论特性。

[0298]	各向同性的 $k$	径向的 $k$	零 $J$	各向同性的 $m$	径向的 $m$	重力	线性震动	角震动
	是	是	是	否	是	一个方向	否	否

[0299] 12.2替代的平面内正交的得到补偿的平行弹簧级的实施方案

[0300] 图45中给出了平面内正交的得到补偿的平行弹簧级的替代实施方案。

[0301] 顺序是192、196、194、198,而不是如图43中具有平行片簧192、194、196、198的顺序。

[0302] 现在我们列出适用于这些实施方案的第3节的理论特性。

	各向同性的 $k$	径向的 $k$	零 $J$	各向同性的 $m$	径向的 $m$	重力	线性震动	角震动
[0303]	是	是	是	否	是	一个方向	否	否

[0304] 12.3得到补偿的各向同性平面弹簧:各向同性缺陷比较

[0305] 在计算出的特定例子中,平面内正交的无补偿的平行弹簧级机构具有6.301%的最坏情况的各向同性缺陷。另一方面,对于得到补偿的机构,最坏情况下的各向同性缺陷是0.027%。因此,该得到补偿的机构降低了200倍的最坏情况的各向同性刚度缺陷。

[0306] 一般估计取决于确切的结构,但上面的示例性估计表明改进是两个数量级的。

[0307] 13将 $k$ 和 $m$ 各向同性缺陷减到最小的实施方案

[0308] 中间块的存在导致对于不同角度不同的减小的质量。因此,第2节的理想的数学模型不再有效并且存在理论上的等时性缺陷。在图46中示出的该节的发明将这种不同减到最小。通过堆叠相对于彼此旋转90度(绕 $z$ 轴的旋转角)的两个相同的平面内正交的得到补偿的平行弹簧级,本发明将减小的质量的各向同性减到最小。

[0309] 因而,图46披露了将减小的质量的各向同性缺陷减到最小的实施方案。

[0310] 第一板201安装在第二板202之上,编号方式具有与图43中相同的含义。第一板201的块191和199分别固定在第二板202的块191和199上。在上面的图中,第一板201的灰色阴影块197、199和第二板202的灰色阴影块193、195、197、199具有 $x$ 位移,其对应于轨道运动质量体的 $x$ 位移分量,而第一板201的黑色阴影块191、193、195和第二板202的黑色阴影块191保持不动。在下面的图中,第一板201的灰色阴影块193、195、197、199和第二板202的灰色阴影块199具有 $y$ 位移,其对应于轨道运动质量体的 $y$ 位移分量,而第一板201的黑色阴影块191和第二板202的黑色阴影块191、193、195保持不动。

[0311] 由于该实施方案,在 $x$ 和 $y$ 方向上减小的质量是相同的,因而在每个方向上都是相同的,因此在理论上将减小的质量的各向同性缺陷减到最小。

[0312] 现在我们列出适用于该实施方案的第3节的理论特性。

	各向同性的 $k$	径向的 $k$	零 $J$	各向同性的 $m$	径向的 $m$	重力	线性震动	角震动
[0313]	是	是	是	是	是	一个方向	否	否

[0314] 13.1平面外正交的得到补偿的各向同性弹簧的实施方案

[0315] 在图47中示出了另一个平面外正交的得到补偿的各向同性弹簧的实施方案。

[0316] 固定的基部301保持住连接到中间块303的第一对平行片簧302。第二对片簧304(平行于302)连接到第二中间块305。中间块305保持住连接到第三中间块307的第三对平行片簧306(正交于弹簧302和304)。中间块307保持住平行片簧308(平行于306),平行片簧308连接到轨道运动质量体309(或替代地连接到保持住轨道运动质量体309的框架)。

[0317] 现在我们列出适用于该实施方案的第3节的理论特性。

	各向同性的 $k$	径向的 $k$	零 $J$	各向同性的 $m$	径向的 $m$	重力	线性震动	角震动
[0318]	是	是	是	是	是	一个方向	否	否

[0319] 13.2通过平行或串联地拷贝或堆叠而减小的各向同性缺陷

[0320] 通过在有精确的角度偏移的情况下拷贝各向同性弹簧并将拷贝堆叠在原始弹簧上,我们可以减小各向同性缺陷。

[0321] 图55表示用于改善刚度各向同性的两个相同的XY平行弹簧振荡器的平行组件。第一XY平行弹簧级振荡器(在图55上的上面的级)包括固定外框架830,第一对平行片簧831和832,中间块833,第二对平行片簧834和835,以及可移动块838,轨道运动质量体(在图上未示出)刚性地安装在可移动块838上。第二XY平行弹簧级(在图55上的下面的级)与第一XY平行弹簧级相同。通过将830刚性地附连到841和将836刚性地附连到842,两个级安装在一起。第二XY平行弹簧级相对于第一XY平行弹簧级绕Z轴旋转180度(该图显示了在830上的标引凹口A与841中的标引凹口A相反)。由于单个级的各向同性缺陷是周期性的,所以以正确的角度偏移(在这种情况下180度)平行堆叠两个级导致缺陷的反相抵消。垫片840和839用于稍微分开两个级并避免它们的可移动部件之间的任何摩擦。整个组件的刚度各向同性缺陷比单个XY平行弹簧级的刚度各向同性缺陷显著地小(通常2~20倍)。通过堆叠旋转角度小于180度的两个以上的级,刚度各向同性可以进一步得到改善。颠倒机构是可能的,即在不改变整体行为的情况下将838、840和842附连到固定基部和将轨道运动质量体安装到外框架830、839和841上。其特性是

[0322]	各向同性的 $k$	径向的 $k$	零 $J$	各向同性的 $m$	径向的 $m$	重力	线性震动	角震动
	是	是	是	是	是	否	否	否

[0323] 图56表示用于改进刚度各向同性的两个相同的XY复合平行弹簧振荡器的平行组件。第一XY复合平行弹簧级(在图56上的上面的部分)包括经由串联安装的两个垂直的复合平行弹簧级连接到可移动块851的固定外框架850。轨道运动质量体(在图上未示出)刚性地安装在可移动块851上。第二XY复合平行弹簧级(在图56上的下面的部分)与第一XY复合平行弹簧级相同。它包括经由串联安装的两个垂直的复合平行弹簧级连接到可移动刚性块853的固定外框架852。通过将850刚性地附连到852上和将851刚性地附连到853上,两个级安装在一起。第二XY平行弹簧级相对于第一XY平行弹簧级绕Z旋转45度(该图显示了在852上的标引凹口A相对于850中的标引凹口A旋转45度)。由于单个级的各向同性缺陷是周期性的,所以以正确的角度偏移(在这种情况下45度)平行堆叠两个级导致缺陷的反相抵消。垫片854和855用于稍微分开两个级并避免可移动部件之间的任何摩擦。整个组件的刚度各向同性缺陷显著地小于比单个XY复合平行弹簧级的刚度各向同性缺陷显著地小(通常100至500倍)。注意1:通过堆叠旋转角度小于45度的两个以上的级,刚度各向同性可以进一步得到改善。注意2:颠倒机构是可能的,即在不改变整体行为的情况下将851、853和854附连到固定基部和将轨道运动质量体安装到外框架850、852和855。其特性是

[0324]	各向同性的 $k$	径向的 $k$	零 $J$	各向同性的 $m$	径向的 $m$	重力	线性震动	角震动
	是	是	是	是	是	否	否	否

[0325] 通常,在图55和56中所示的实施方案适用于上文描述的和在图30至35及40至46中所示的包括类似的级的结构和实施方案。另外,相对于这些实施方案,根据上文中描述的原理,包括几个级(两个或更多)的堆可以通过将它们彼此上下堆叠而形成,每个级相对于其

相邻级都具有角度偏移,例如 $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ 或其它值或甚至其组合。以不同角度取向的级的这种组合允许减少或甚至取消振荡器的各向同性缺陷。

[0326] 图62表示用于改进刚度各向同性的两个相同的XY平行弹簧振荡器的串联组件。第一XY平行弹簧级振荡器(图62上的下面的级)包括固定外框架970,第一对平行片簧971,中间块972,第二对平行片簧973,以及可移动块974,第二XY平行弹簧级(图62上的上面的级)刚性地安装在可移动块974上。该第二级与第一XY平行弹簧级相同。通过经由垫片975将976刚性地附连到974,两个级安装在一起,垫片975在两个级之间创建了间隙。第二级相对于第一级绕Z轴旋转 $180^\circ$ (该图显示了在970上的标引凹口A与979中的标引凹口A相反)。振荡器的可移动质量体是块977(该块由密致材料制成,而所有其它可移动块由低密度材料制成)。由于单个级的各向同性缺陷是周期性的,所以以正确的角度偏移(在这种情况下 $180^\circ$ )串联堆叠两个级导致缺陷的反相抵消。整个组件的刚度各向同性缺陷比单个XY平行弹簧级的刚度各向同性缺陷显著地小(通常2至20倍)。通过堆叠旋转角度小于 $180^\circ$ 的两个以上的级,刚度各向同性可以进一步得到改善。其特性是

[0327]	各向同性的 $k$	径向的 $k$	零 $J$	各向同性的 $m$	径向的 $m$	重力	线性震动	角震动
	是	是	是	是	是	否	否	否

[0328] 图63表示用于改进刚度各向同性的两个相同的XY复合平行弹簧振荡器的串联组件。第一XY平行弹簧级振荡器(图63上的下面的级)包括固定外框架980和可移动块981,第二XY复合平行弹簧级(图63上的上面的级)刚性地安装在可移动块981上。该第二级与第一XY平行弹簧级相同。通过经由垫片982将981刚性地附连到983,两个级安装在一起,垫片982在两个级之间创建了间隙。第二级相对于第一级绕Z轴旋转 $45^\circ$ (该图显示了在984上的标引凹口A相对于980中的标引凹口A移位)。振荡器的可移动质量体是块984(该块由密致材料制成,而所有其它可移动块由低密度材料制成)。由于单个级的各向同性缺陷是周期性的,所以以正确的角度偏移(在这种情况下 $45^\circ$ )串联堆叠两个级导致缺陷的反相抵消。整个组件的刚度各向同性缺陷比单个XY平行弹簧级的刚度各向同性缺陷显著地小(通常100至500倍)。通过堆叠旋转角度小于 $45^\circ$ 的两个以上的级,刚度各向同性可以进一步得到改善。其特性是

[0329]	各向同性的 $k$	径向的 $k$	零 $J$	各向同性的 $m$	径向的 $m$	重力	线性震动	角震动
	是	是	是	是	是	否	否	否

[0330] 14重力和震动补偿

[0331] 为了将新的振荡器置于便携式计时装置中,必需解决可能影响振荡器的正确功能的力。这包括重力和震动。

[0332] 14.1重力的补偿

[0333] 针对重力的第一种方法是制造一种平面各向同性弹簧,其在相对于重力处于水平位置中时不会感觉到其影响,如上所述。

[0334] 然而,这仅适用于静止的时钟。对于便携式计时装置,需要进行补偿。这可以通过制作振荡器的拷贝并通过球窝接头或万向接头连接两个拷贝来实现,如上面参照图20至24描述的。在图20的实现方式中,整个机构的重心保持固定。其中采用第14节的振荡器。

[0335] 现在我们列出了适用于这些实现方式的第3节的理论特性。

[0336]	各向同性的 $k$	径向的 $k$	零 $J$	各向同性的 $m$	径向的 $m$	重力	线性震动	角震动
	是	是	是	是	是	是	是	否

[0337] 14.2线性加速度的动态平衡

[0338] 线性震动是线性加速度的形式,因此包括作为特例的重力。因此,图20的机构也补偿线性震动,见上面的描述。

[0339] 14.3角加速度的动态平衡

[0340] 通过改变图20中所示的在前的节的机构而减小两个质量体的重心之间的距离,如图21中所示,可以将由角加速度引起的的影响减到最小。分开两个重心的在图21中所示的距离1的精确调节允许完全补偿角震动,包括考虑杆本身的惯性力矩。在图49A和49B中示出了另一个实施方案,其中两个XY振荡器经由与自行车牙盘和中轴类似的曲轴耦合,曲柄以可能不同的半径脉冲式推每个XY振荡器。更确切地说,图49A和49B表示动态平衡的角度耦合的双振荡器。两个平面振荡器的轨道运动质量体643和644通过双曲柄(类似于自行车牙盘)耦合,双曲柄包括上曲柄646,下曲柄645和它们的轴647(类似于自行车中轴)。曲柄臂646包含槽,其容许销刚性地连接到质量体643以在该槽中滑动。类似地,质量体644刚性地连接到销,该销在曲柄645上的槽中滑动。轴647由齿轮648驱动,齿轮648本身由齿轮649驱动,齿轮649又由齿轮650驱动。这样的安排迫使两个质量体643和644相对于彼此呈180度地(角耦合)作轨道运动。两个质量体的径向位置是独立的(没有径向耦合)。因此,整个系统表现为三自由度振荡器。上和下振荡器的固定框架641和642附连到共同的固定框架640。其特性是

[0341]	各向同性的 $k$	径向的 $k$	零 $J$	各向同性的 $m$	径向的 $m$	重力	线性震动	角震动
	是	是	是	是	是	部分地	部分地	否

[0342] 在图50A和50B中给出了另一个实施方案,其中两个XY振荡器经由球窝接头耦合以使得每个XY振荡器的半径和振幅是相同的。更确切地说,图50A和50B表示基于两个平面振荡器的动态平衡的角度地和径向地耦合的双振荡器。两个平面振荡器654和652的轨道运动质量体653和655通过耦合杆656耦合,耦合杆656通过球窝接头657连接到固定框架651。656的两个末端轴向滑动到两个球体658和659中,分别形成关于655和653的球窝接头关节。这个运动学上的安排导致两个振荡器的角度的和径向的耦合。因此,整个系统表现为二自由度振荡器。上和下振荡器的固定框架654和652附连到共同的固定框架651。其特性是

[0343]	各向同性的 $k$	径向的 $k$	零 $J$	各向同性的 $m$	径向的 $m$	重力	线性震动	角震动
	是	是	是	是	是	是	是	是

[0344] 在图57中给出了另一个实施方案,其中动态平衡经由具有柔性枢轴的杆来实现,杆的长度选择为具有消除不希望的比例。更准确地说,图57表示动态平衡的各向同性谐波振荡器:轨道运动质量体867 (M) 安装在框架866上。框架866经由以90度串联安装的两个平行弹簧级附连到固定基部860:861和862提供Y方向上的自由度,864和865提供X方向上的自由度。863是中间的可移动块。另外,866连接到X补偿质量体871 (m) 和Y方向补偿质量体

876, X补偿质量体871相对于867的X方向上的所有运动在相反的方向上移动, Y方向补偿质量体876相对于Y方向上的所有运动在相反的方向上移动。反转机构基于片簧869, 其将主质量体867连接到刚性杆870。由于包括两个片簧872和873的柔性枢轴, 该杆相对于固定基部枢转。X方向补偿质量体871安装到该杆的相反端上。该杆的长度选择为具有特定比例 $OA/OB = m/M$ , 以使得在XY平面上的线性加速度不在枢转点O上产生转矩。相同的机构874至878用于针对Y方向上的加速度动态地平衡主质量体867。因此, 整个机构对于小变形范围内的线性加速度是高度不敏感的。刚性销868附连到867并接合到保持轨道运动的驱动曲柄(图中未示出)中。注意: 除了质量体867、871和876之外的所有部件均由低密度材料制成, 例如铝合金或硅。

[0345] 现在我们列出了适用于该实施方案的第3节的理论特性。

	各向同性的 $k$	径向的 $k$	零 $J$	各向同性的 $m$	径向的 $m$	重力	线性震动	角震动
[0346]	是	是	是	是	是	是	是	否

[0347] 16三维平移各向同性弹簧的发明

[0348] 在图48中示出了三维平移各向同性弹簧的发明。三个垂直的波纹管403将平移轨道运动质量体402连接到固定基部401。利用10.2节的说法, 见上面的图17, 这种机构表现出直到一阶的三维各向同性。与图16-18中所示的二维结构不同, 波纹管403提供3自由度的平移悬架, 使之成为对外部转矩不敏感的现实的工作机构。其特性是

	各向同性的 $k$	径向的 $k$	零 $J$	各向同性的 $m$	径向的 $m$	重力	线性震动	角震动
[0349]	是	是	是	是	是	否	否	否

[0350] 17应用于加速度计、计时器和调节器

[0351] 通过将径向显示器加到本文描述的各向同性弹簧的实施方案, 本发明可以构成完全机械的二自由度加速度计, 例如, 其适合于测量载客汽车的侧向 $g$ 力。

[0352] 在另一个应用中, 本申请中描述的振荡器和系统可被用作用于测量秒的片段的计时器的时基, 其只需要扩展的速度倍增齿轮组, 例如以获得100Hz频率以便测量1/100秒。当然, 其他的时间间隔测量结果是可能的并且因此齿轮组的最终传动比可以进行修改。

[0353] 在另一个应用中, 本申请中描述的振荡器可以用作速度调节器, 其中例如只要在小的间隔上恒定的平均速度, 以调节自鸣钟或音乐钟和手表以及音乐盒。与摩擦调节器相反, 谐波振荡器的使用意味着摩擦被减到最小且品质因数最优化, 从而将不需要的噪音减到最小, 降低能耗和由此的能量存储, 并且在自鸣表或音乐表的应用中, 由此提高音乐或自鸣的节奏稳定性。

[0354] 本文给出的实施方案是用于说明的目的, 不应以限制性的方式来解释。例如通过使用等效的装置, 在本发明的范围内, 许多变型是可能的。此外, 根据环境, 本文描述的不同实施方案可以根据需要进行组合。

[0355] 另外, 在本发明的范围和精神内可以设想对于振荡器的其他应用, 并且其不限于本文中所描述的几种方式。

[0356] 本发明的一些实施方案的主要特征和优点

[0357] A.1. 各向同性谐波振荡器的机械实现方式。

- [0358] A.2. 各向同性弹簧的使用,其是平面中心线性恢复力的物理实现(胡克定律)。
- [0359] A.3. 由于谐波振荡器作为时基导致的精密计时装置。
- [0360] A.4. 没有擒纵机构的计时装置,在机械复杂性减小的情况下具有较高的效率。
- [0361] A.5. 具有所得到的效率增益的连续运动机械计时装置,因为消除了运行的轮系的间歇式走走停停运动和相关联的浪费的震动和阻尼效果以及运行的轮系和擒纵机构的重复加速。
- [0362] A.6. 重力的补偿。
- [0363] A.7. 线性震动的动态平衡。
- [0364] A.8. 角震动的动态平衡。
- [0365] A.9. 通过使用自由擒纵机构改善了精密记时计的精度,即,对于其振荡的一部分,自由擒纵机构将振荡器从所有机械干扰中解放出来。
- [0366] A.10. 一类新的擒纵机构,其与平衡轮擒纵机构相比得到简化,因为振荡器的旋转不改变方向。
- [0367] A.11. 各向同性振荡器对传统的天文钟擒纵机构的改进
- [0368] 一些实施方案的创新
- [0369] B.1. 各向同性谐波振荡器作为时基在计时装置中的第一次应用
- [0370] B.2. 从具有谐波振荡器时基的计时装置中消除了擒纵机构
- [0371] B.3. 补偿重力的新机构
- [0372] B.4. 用于动态平衡线性和角震动的新机构
- [0373] B.5. 新的简化的擒纵机构
- [0374] 总结,根据本发明的各向同性谐波振荡器(各向同性弹簧)
- [0375] 示例性特征
- [0376] 1. 将弹簧刚度各向同性缺陷减到最小的各向同性谐波振荡器
- [0377] 2. 将减小的质量的各向同性缺陷减到最小的各向同性谐波振荡器
- [0378] 3. 将弹簧刚度和减小的质量的各向同性缺陷减到最小的各向同性谐波振荡器
- [0379] 4. 各向同性振荡器,其将弹簧刚度、减小的质量的各向同性缺陷减到最小并且对所有方向上的线性加速度不敏感,特别是对机构的所有取向上的重力不敏感。
- [0380] 5. 对角加速度不敏感的各向同性谐波振荡器
- [0381] 6. 将所有上述性质结合起来的各向同性谐波振荡器:将弹簧刚度和减小的质量的各向同性缺陷减到最小并且对线性加速度和角加速度不敏感。
- [0382] 发明的应用
- [0383] A.1. 本发明是中心线性恢复力的物理实现(胡克定律)。
- [0384] A.2. 发明提供了各向同性谐波振荡器作为计时装置的时基的物理实现。
- [0385] A.3. 发明将对平面各向同性的背离减到最小。
- [0386] A.4. 发明的自由振荡非常近似于以弹簧的中性点作为椭圆中心的封闭椭圆轨道
- [0387] A.5. 发明的自由振荡具有高度的等时性:振荡周期高度独立于总能量(振幅)。
- [0388] A.5. 发明容易与传递外部能量的机构配对,外部能量用于在长的时期上维持振荡总能量相对恒定。
- [0389] A.6. 机构可以改变以提供三维各向同性。

[0390] 特点

[0391] N.1. 具有高度的弹簧刚度和减小的质量的各向同性并且对线性和角加速度不敏感的各向同性谐波振荡器

[0392] N.2. 对完美各向同性的偏离比以前的机构小至少一个数量级, 并且通常小两个量级。

[0393] N.3. 对完美各向同性的偏离第一次足够小到使发明能够被用作精密计时装置的时基的部件

[0394] N.4. 发明是不需要具有间歇式运动的擒纵机构的谐波振荡器的首次实现, 所述具有间歇式运动的擒纵机构用于供应能量以将振荡维持在相同的能量水平。

[0395] 参考文献(全部通过引用的方式并入本申请中)

[0396] [1] Joseph Bertrand, Theoreme relatif au mouvement d'un point attire vers un centre fixe, C.R.Acad.Sci.77 (1873), 849-853页。

[0397] [2] Jean-Jacques Born, Rudolf Dinger, Pierre-André Farine, Salto-Un mouvement mécanique a remontage automatique ayant la précision d'un mouvement a quartz, Societe Suisse de Chronométrie, Actes de la Journée d'Etude 1997。

[0398] [3] H. Bouasse, Pendule Spiral Diapason II, Delagrave书店, 巴黎1920。

[0399] [4] Antoine Breguet, Régulateur isochrone de M. Yvon Villarceau, La Nature 1876 (premier semestre), 187-190页。

[0400] [5] Louis-Clément Breguet, Brevet d'Invention 73414, 1867年6月8日, Ministère de l'agriculture, du Commerce et des Travaux publics (法国)。

[0401] [6] George Daniels, Watchmaking, 2011校正版, Philip Wilson, 伦敦2011。

[0402] [7] Leopold Defossez, Les savants du XVIIeme siecle et la mesure du temps, Edition du Journal Suisse d'Horlogerie, 洛桑1946。

[0403] [8] Leopold Defossez, Theorie Generale de l'Horlogerie, Tome Premier, La Chambre suisse d'horlogerie, 拉绍德封1950。

[0404] [9] Rupert T. Gould, The Marine Chronometer, 第二版, 古玩收藏俱乐部, 伍德布里奇, 英国, 2013。

[0405] [10] R. J. Griffiths, William Bond astronomical regulator No.395, Antiquarian Horology 17 (1987), 137-144页。

[0406] [11] Jules Haag, Sur le pendule conique, Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, 1947, 1234-1236页。

[0407] [12] Jules Haag, Les mouvements vibratoires, 第二卷, 法国大学出版社, 1955。

[0408] [13] K. Josic and R. W. Hall, Planetary Motion and the Duality of Force Laws, SIAM Review 42 (2000), 114-125页。

[0409] [14] Simon Henein, Conception des guidages flexibles, Romandes理工学院和大学出版社, 洛桑2004。

[0410] [16] Christiaan Huygens, Horologium Oscillatorium, 拉丁文, Ian Bruce进行英文翻译, [www.17centurymaths.com/contents/huygenscontents.html](http://www.17centurymaths.com/contents/huygenscontents.html)

[0411] [17] Derek F. Lawden, Elliptic Functions and Applications, 施普林格出版

社,纽约2010.

[0412] [18]J.C.Maxwell,On Governors,Bulletin of the Royal Society 100(1868), 270-83页。

[0413] [en.wikipedia.org/wiki/File:On\\_Governors.pdf](http://en.wikipedia.org/wiki/File:On_Governors.pdf)

[0414] [19]Isaac Newton,The Mathematical Principles of Natural Philosophy,第1卷,Andrew Motte翻译1729,谷歌电子书,2014年1月10日检索到。

[0415] [20]Niaudet-Breguet,“Applicationdu diapason`a l’horlogerie”.Séance de lundi 1866年12月10日.Comptes Rendus de l’Académie des Sciences 63,991—992页。

[0416] [21]Derek Roberts,Precision Pendulum Clocks,希弗出版有限公司,阿特格伦,宾夕法尼亚,2003。

[0417] [22]Seiko Spring Drive official website,[www.seikospringdrive.com](http://www.seikospringdrive.com),2014年1月

[0418] 10日检索到。

[0419] [23]William Thomson,On a new astronomical clock,and a pendulum governor for uniform motion,Proceedings of the Royal Society 17(1869),468-470页。

[0420] [24]Yvon Villarceau,Sur lesrégulateurs isochrones,dérivés du système de Watt,Comptes Rendus de l’Académie des Sciences,1872,1437-1445页。

[0421] [25]Philip Woodward,My Own Right Time,牛津大学出版社1995。

[0422] [26]Awtar,S.,Synthesis and analysis of parallel kinematic XY flexure mechanisms.博士论文,麻省理工学院,坎布里奇,2006。

[0423] [27]M.Dinesh,G.K.Ananthasuresh,Micro-mechanical stages with enhanced range,国际工程科学和应用数学的进步杂志,2010。

[0424] [28]L.L.Howell,Compliant Mechanisms,威立出版社,2001。

[0425] [29]Yangmin Li,and Qingsong Xu,Design of a New Decoupled XY Flexure Parallel Kinematic Manipulator with Actuator Isolation,IEEE 2008。

[0426] [30]Yangmin Li,Jiming Huang,and Hui Tang,A Compliant Parallel XY Micromotion Stage With Complete Kinematic Decoupling,IEEE,2012。

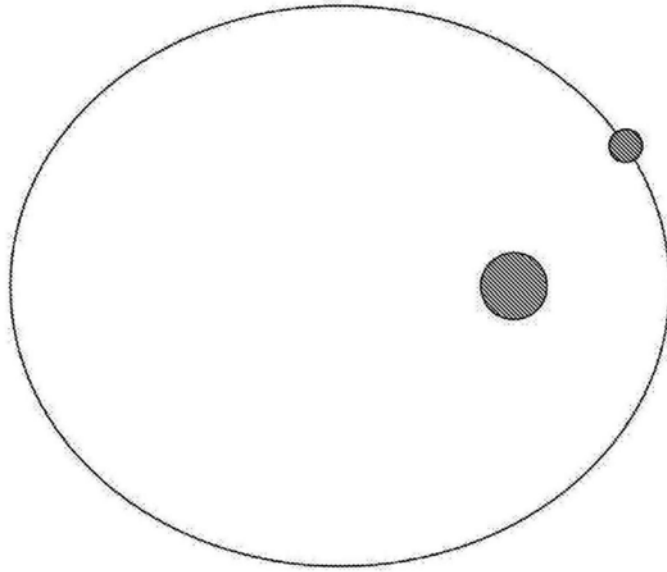


图1

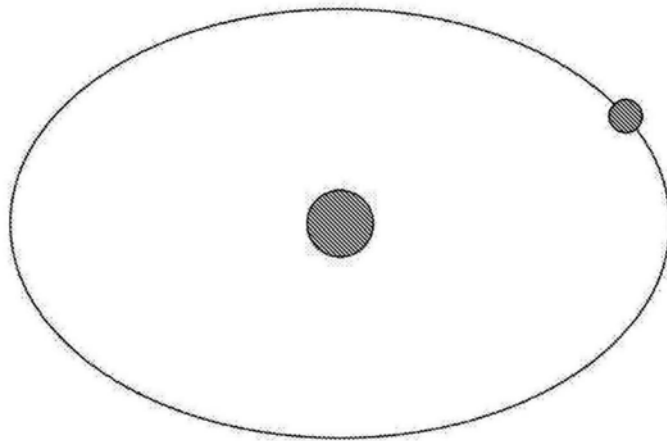


图2

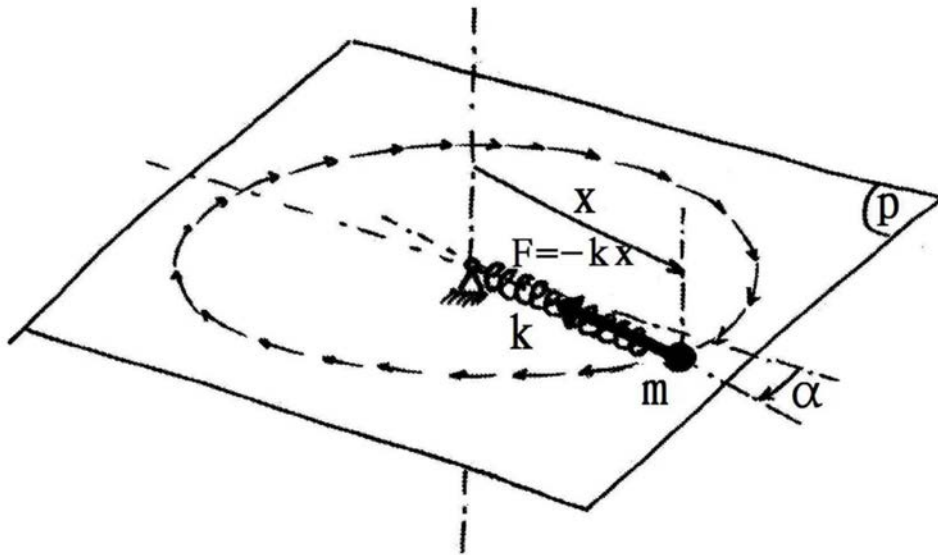


图3

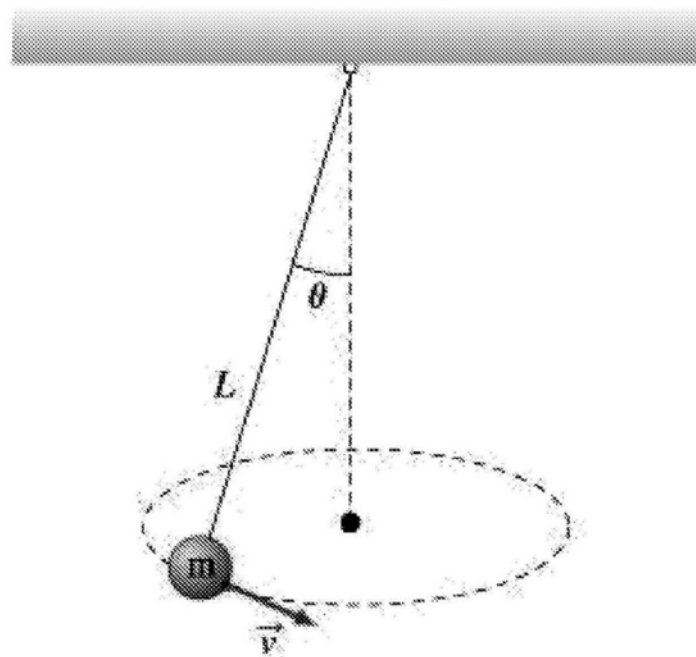


图4

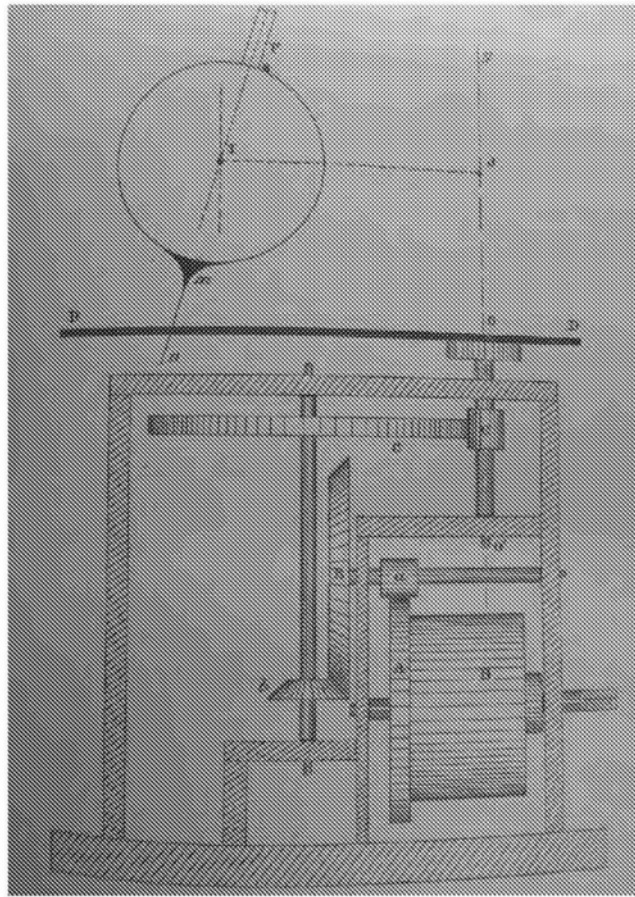


图5

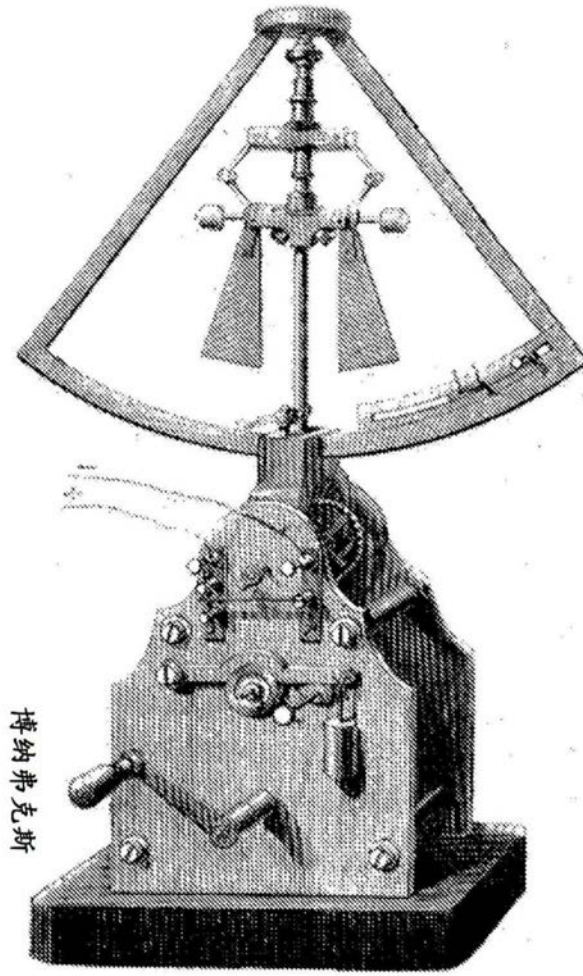


图6

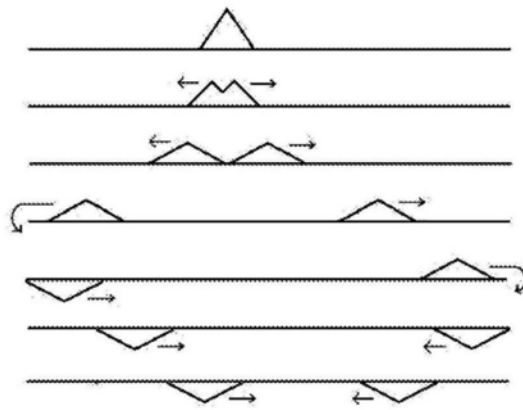


图7

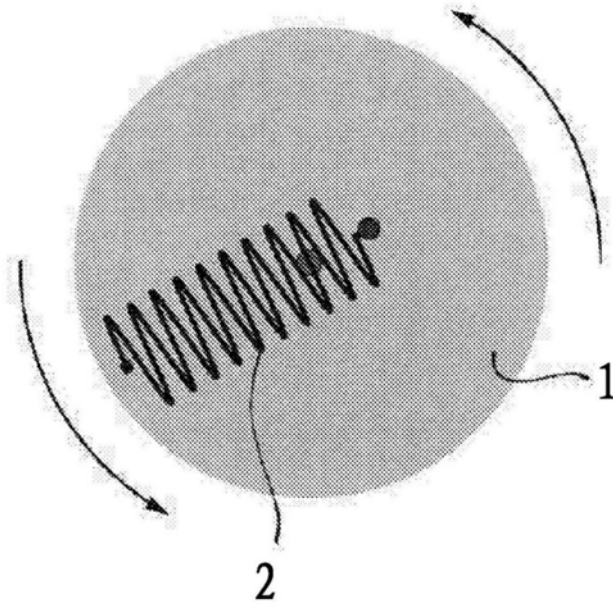


图8

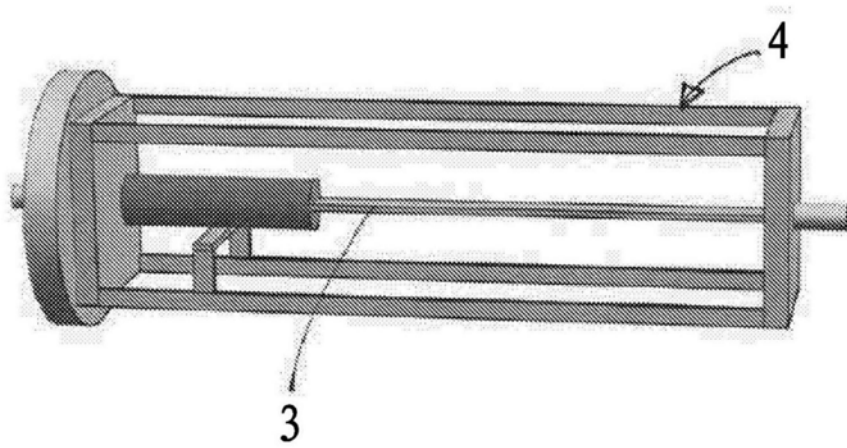


图9

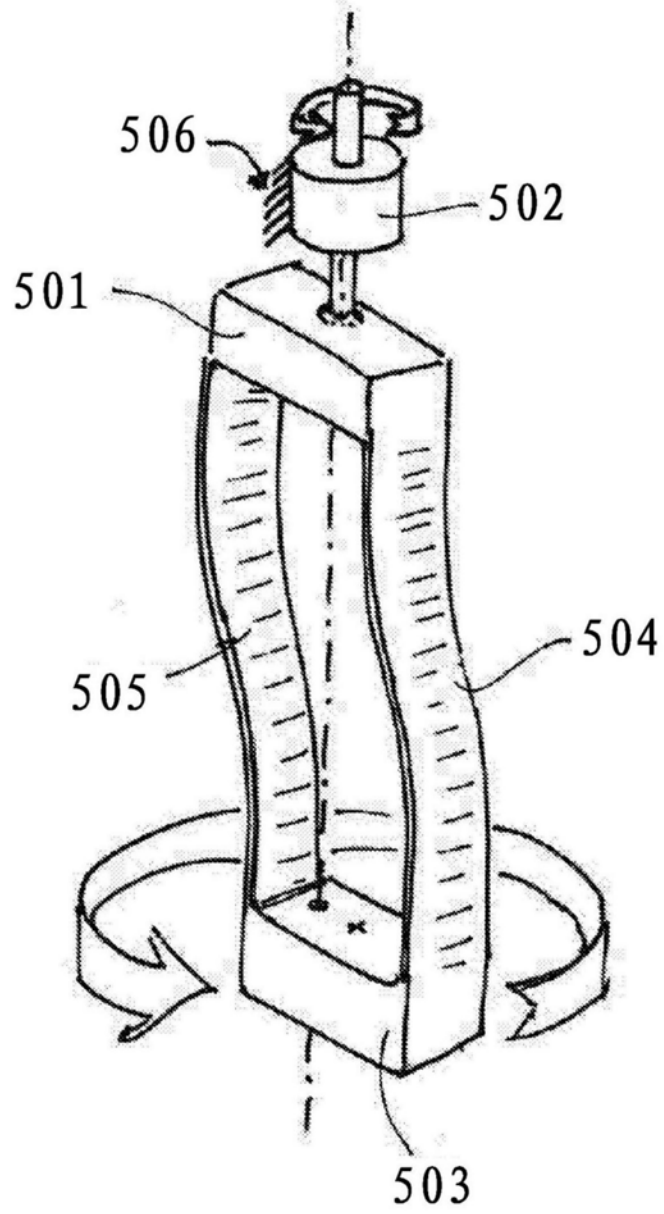


图10

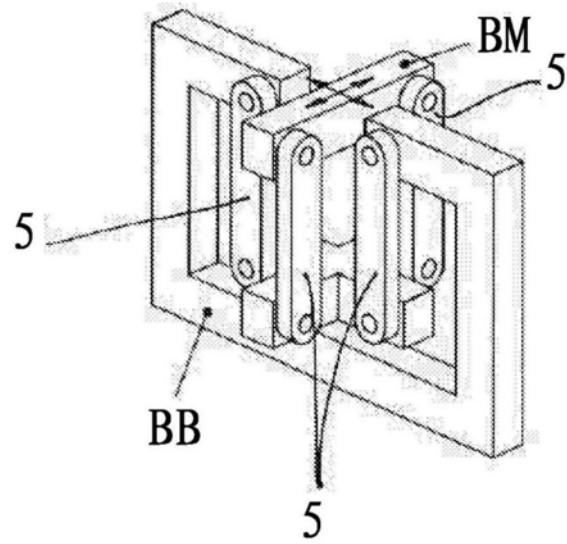


图11

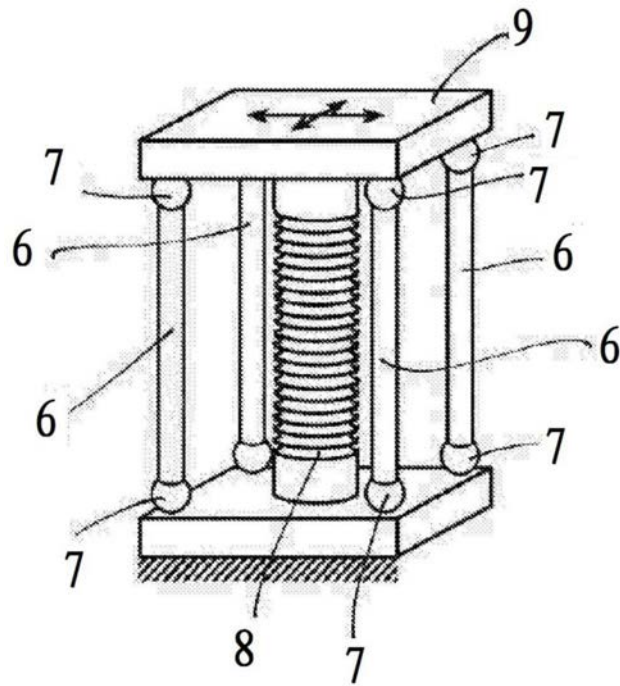


图12

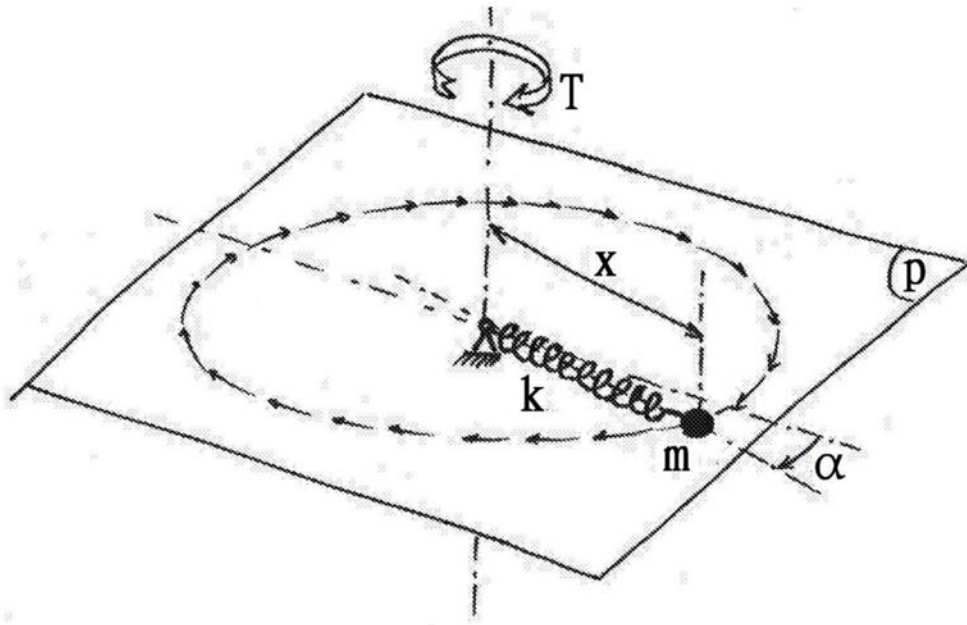


图13

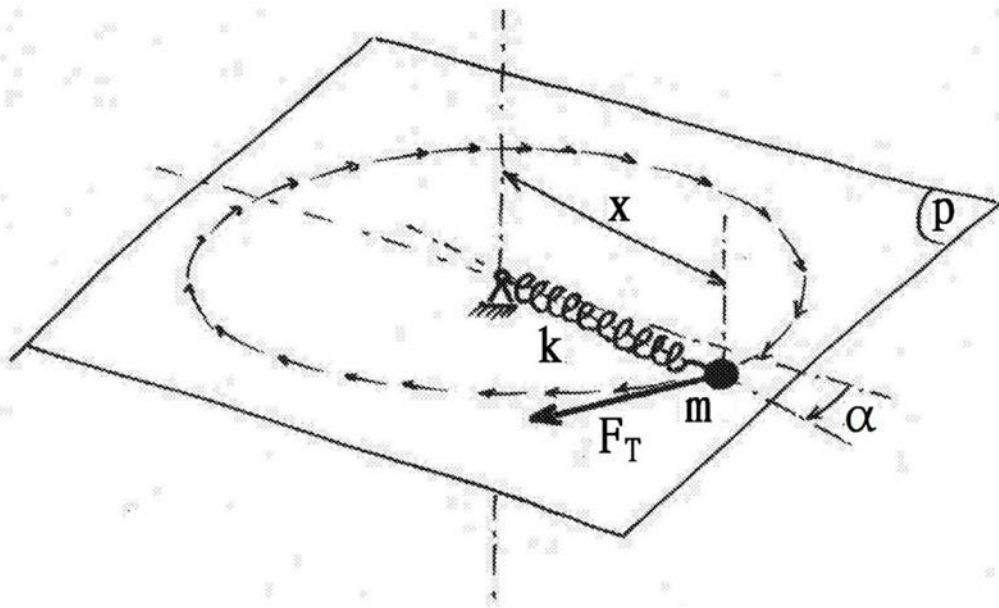


图14

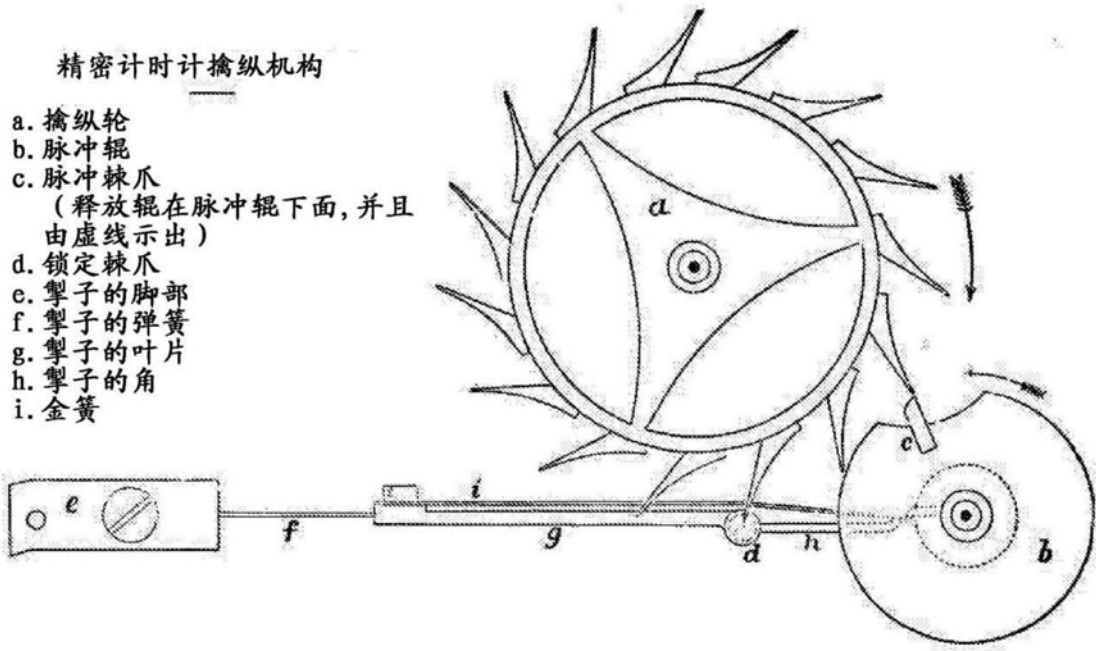


图15

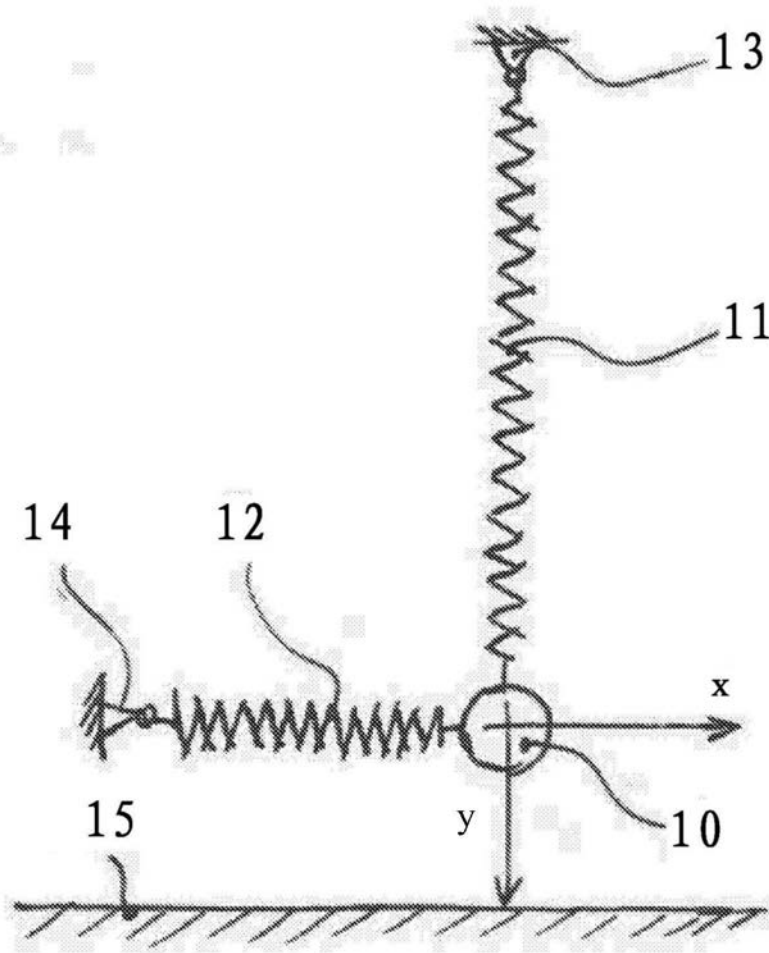


图16

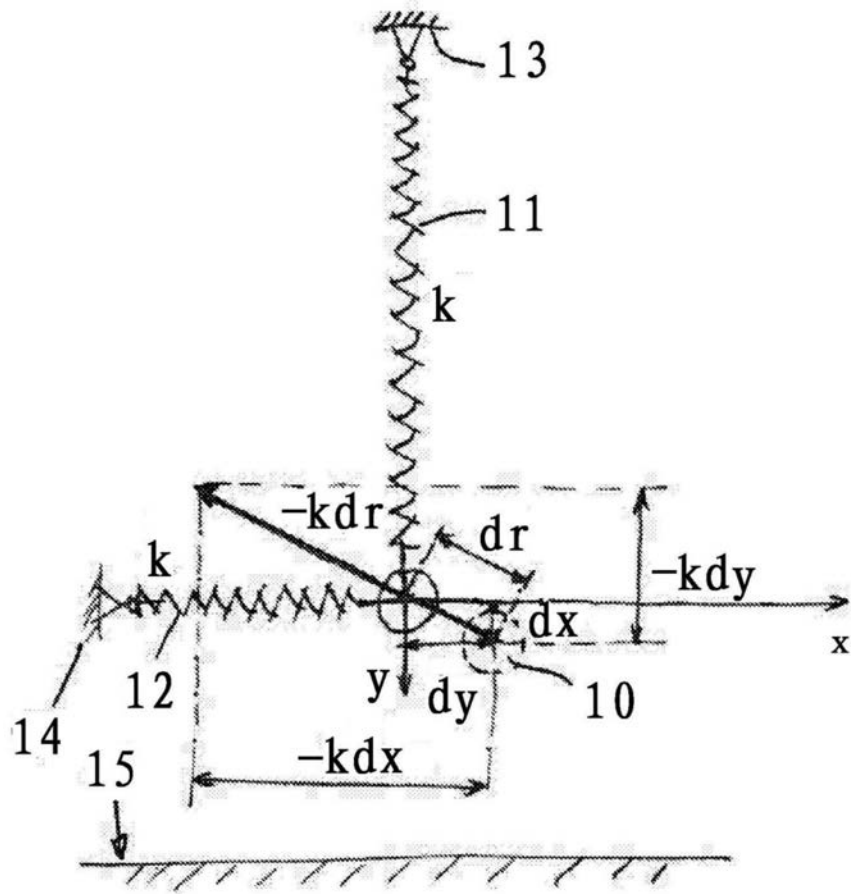


图17

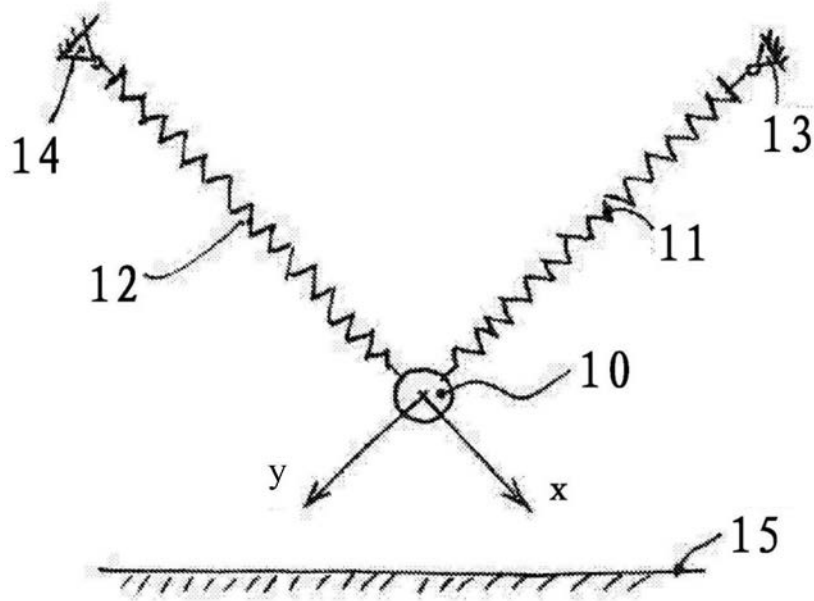


图18

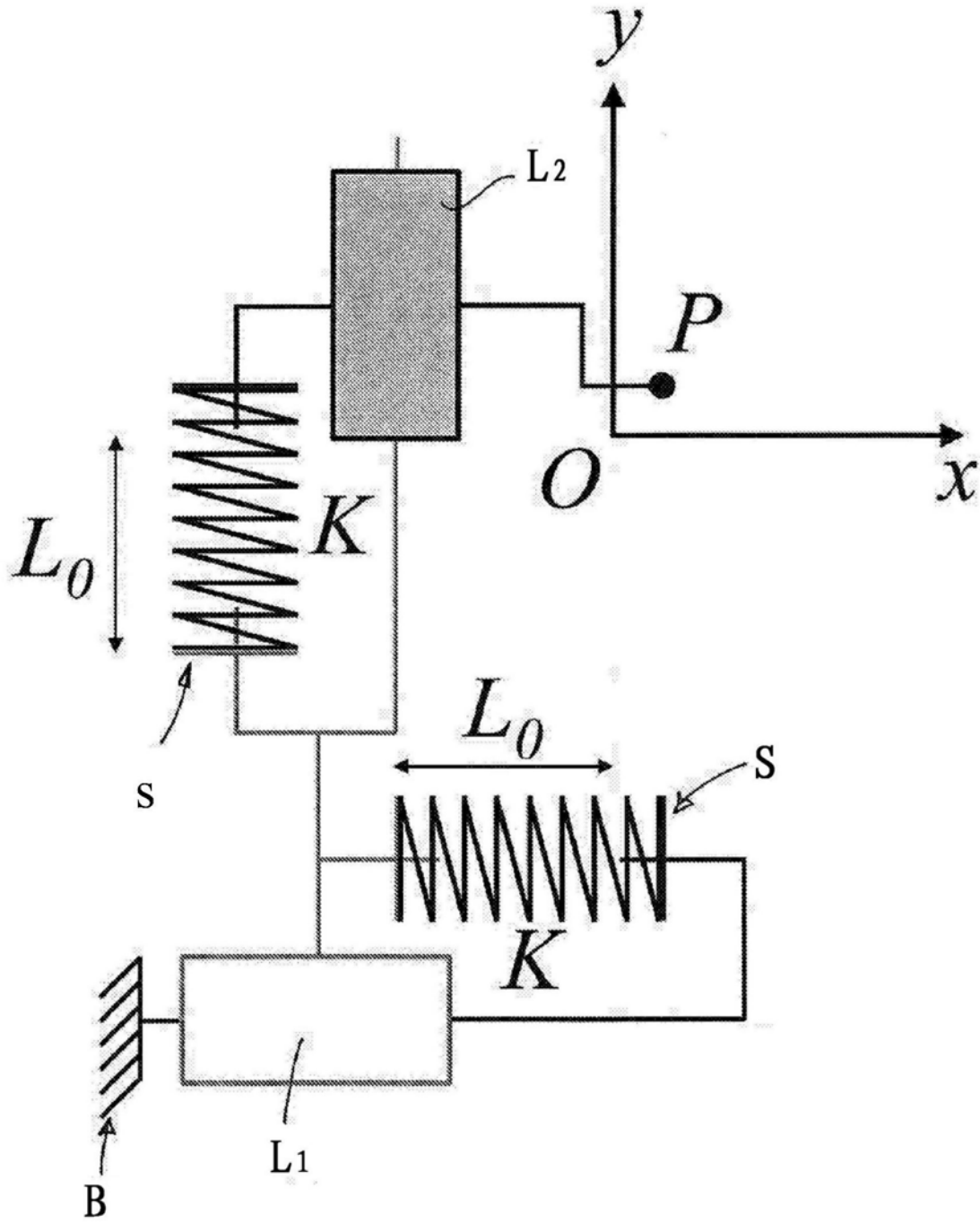


图18A

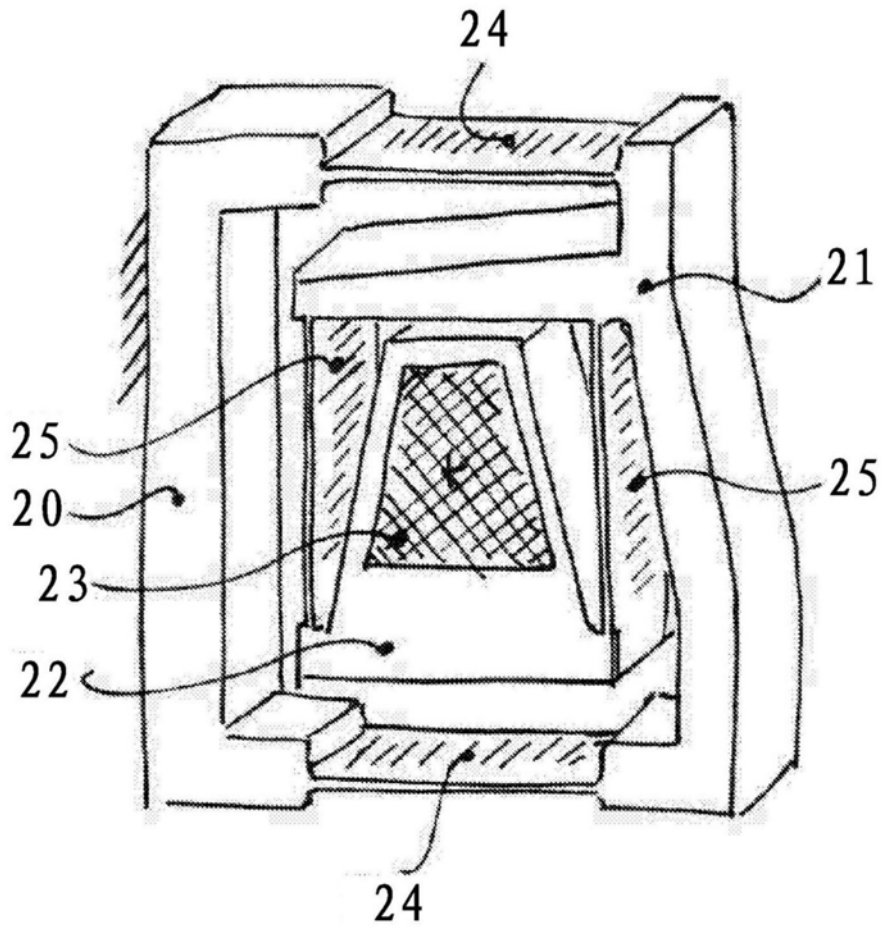


图19

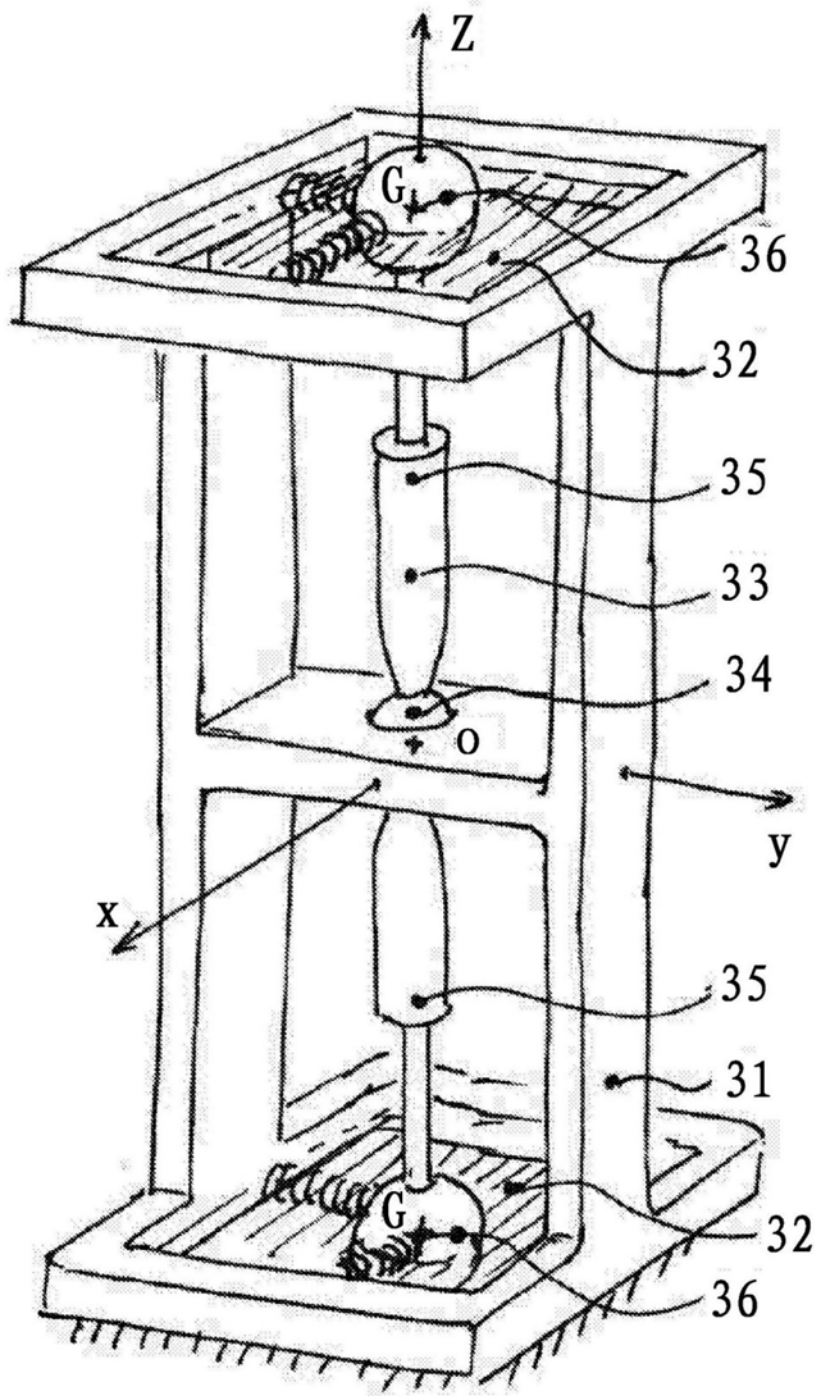


图20

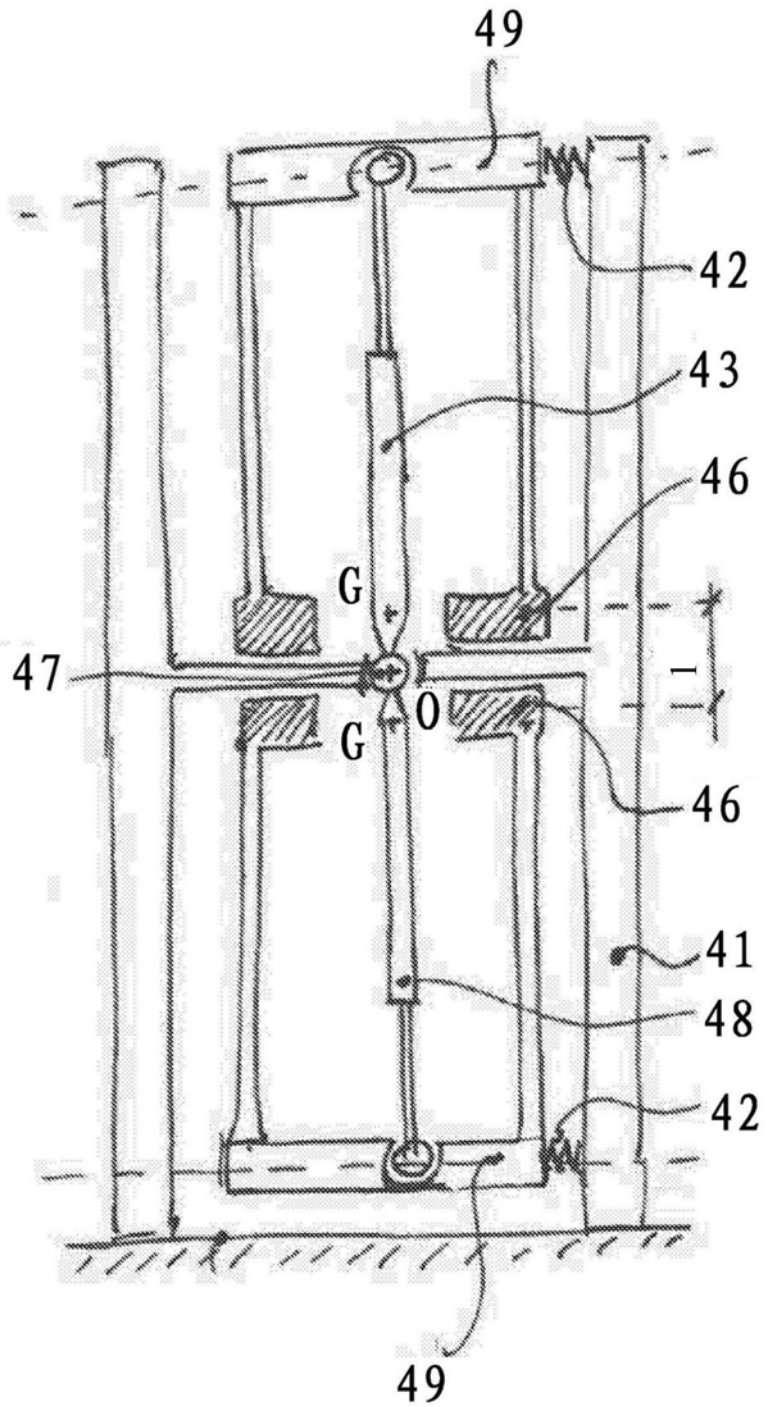


图21

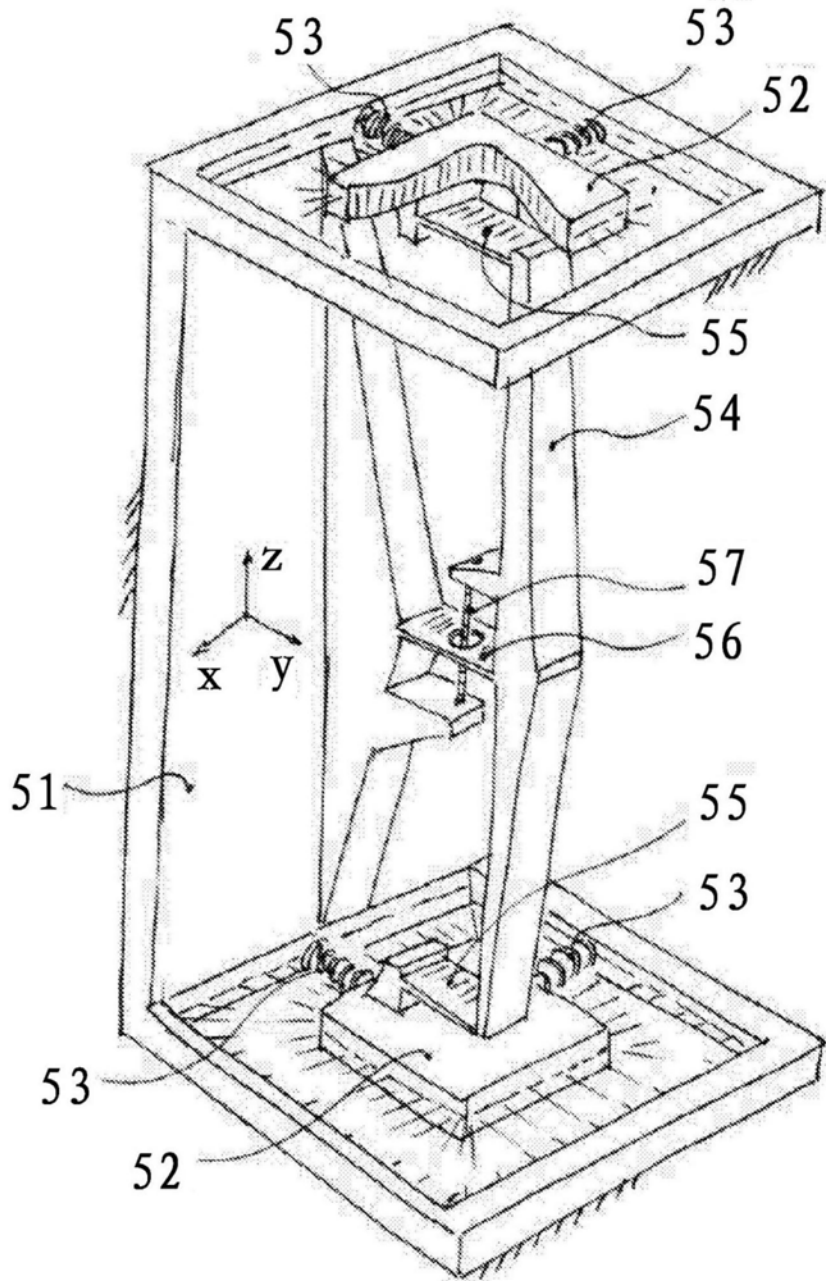


图22

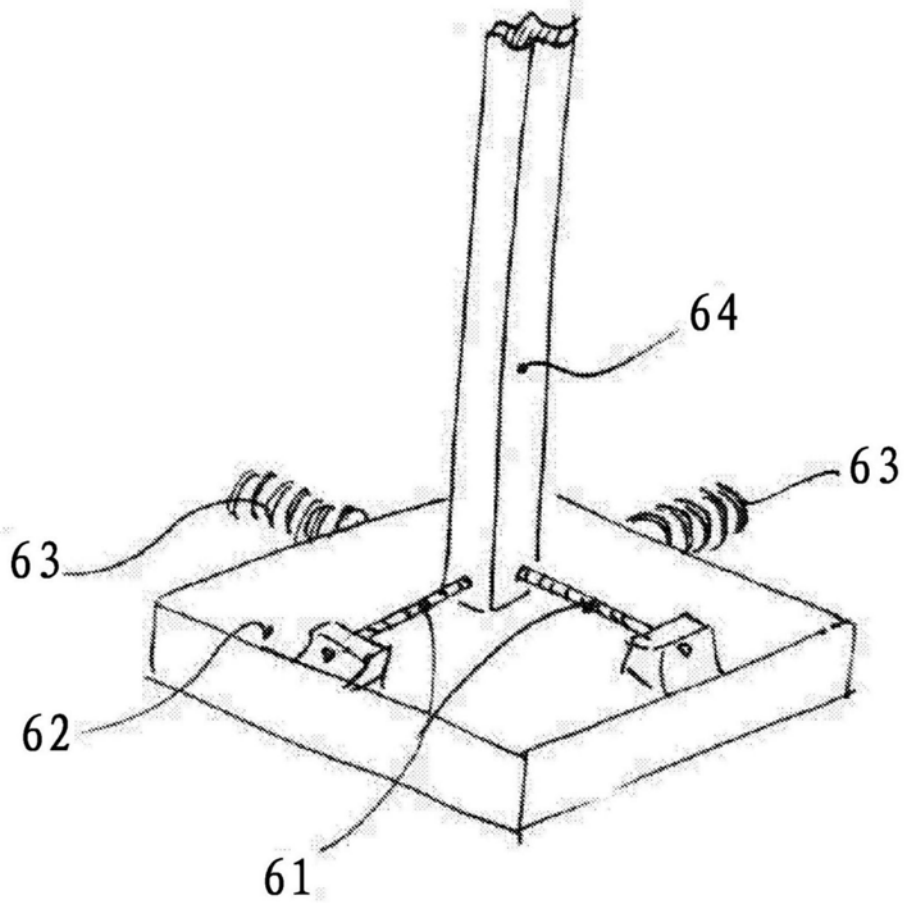


图23

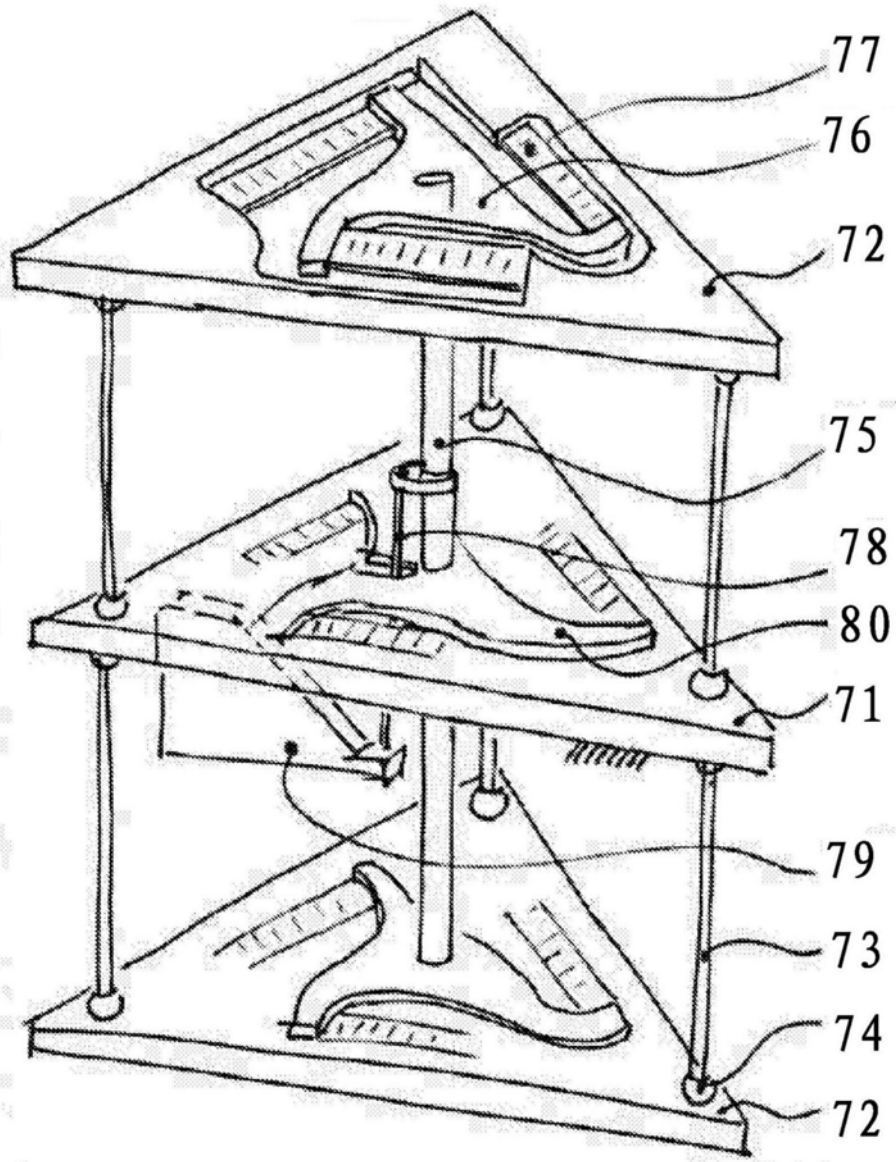


图24

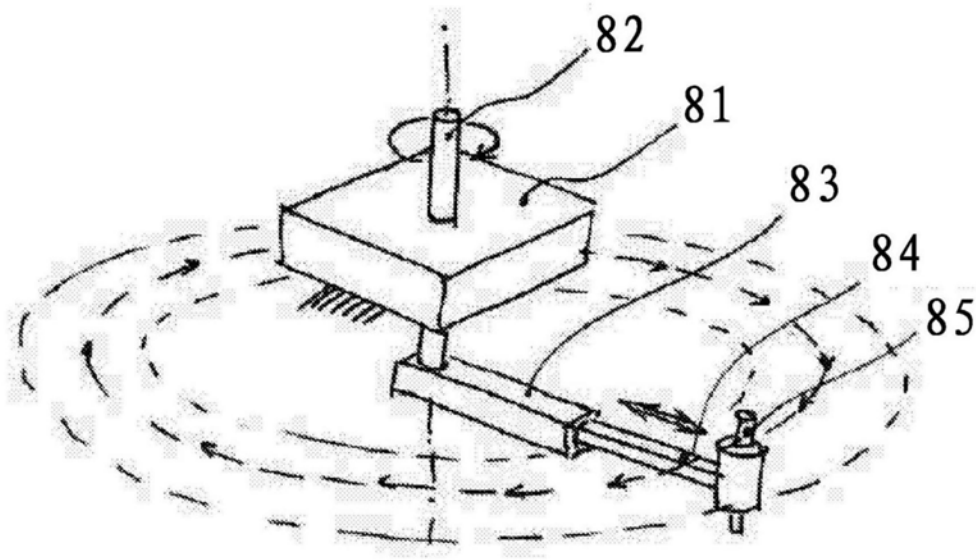


图25

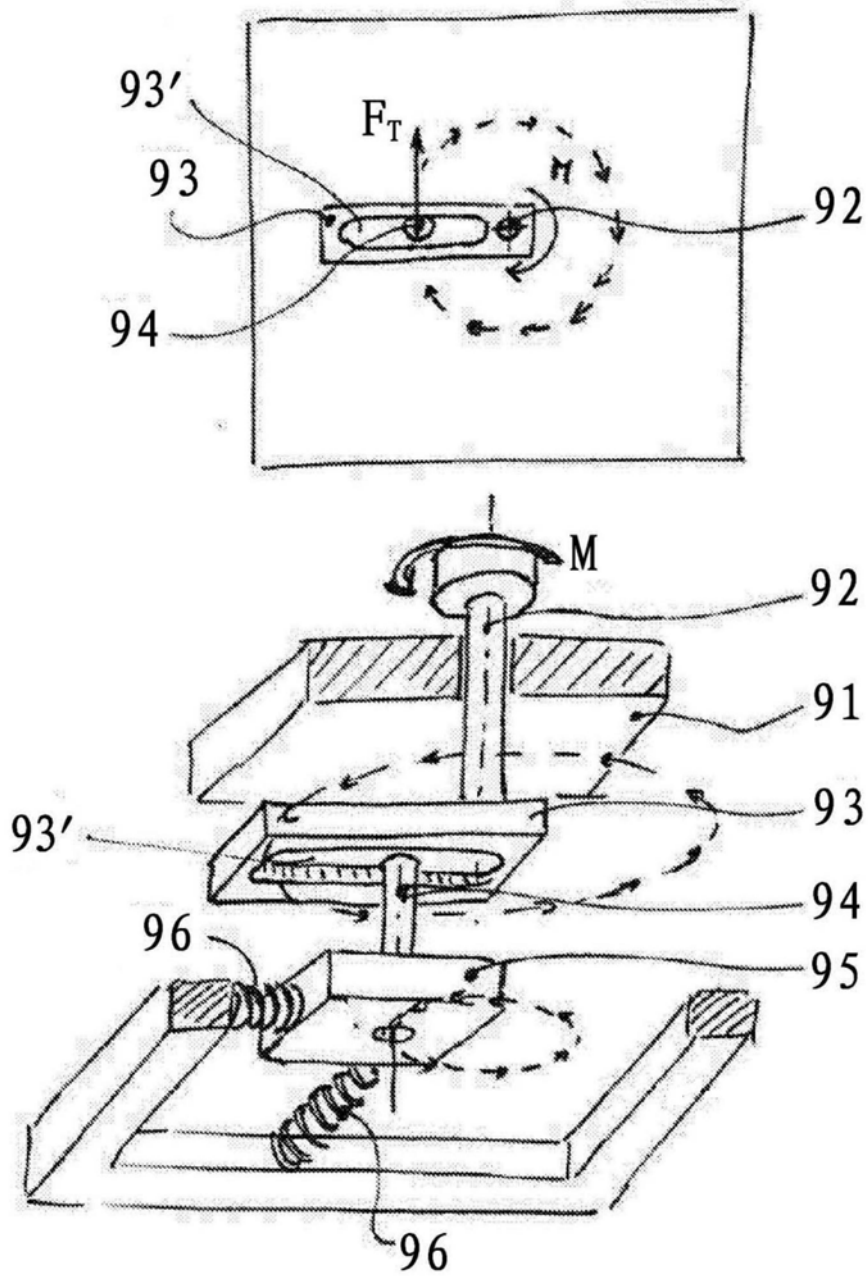


图26

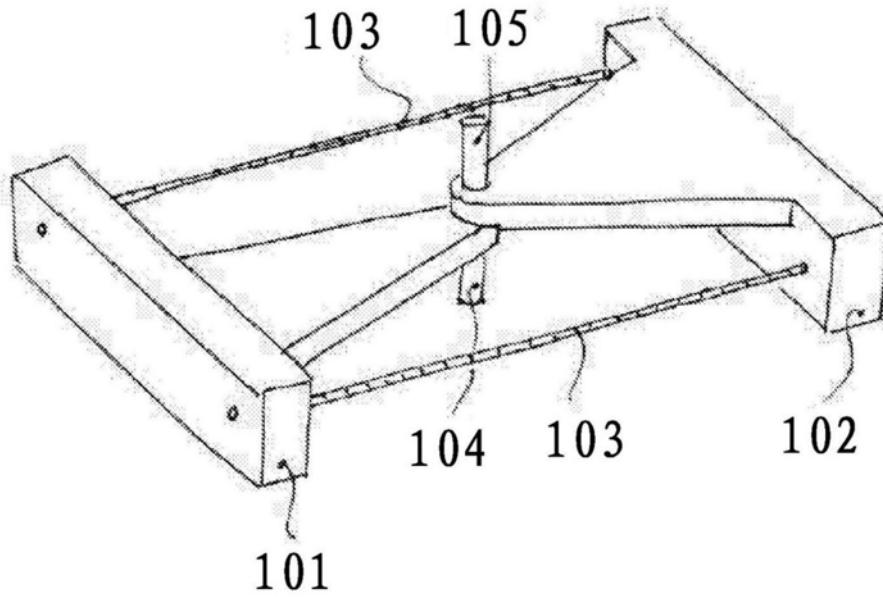


图27

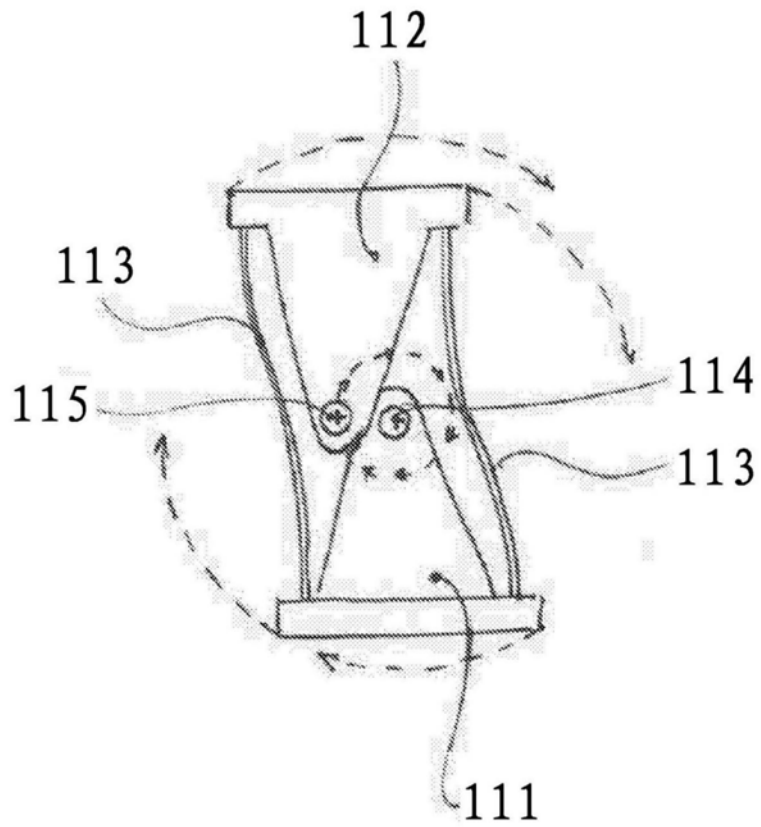


图28

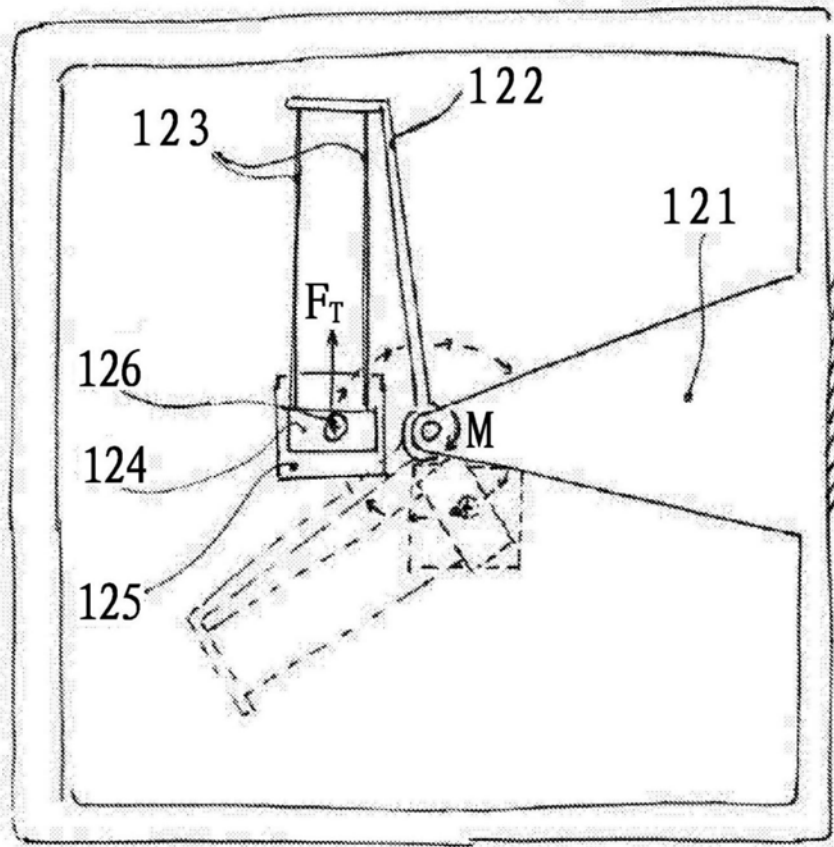


图29

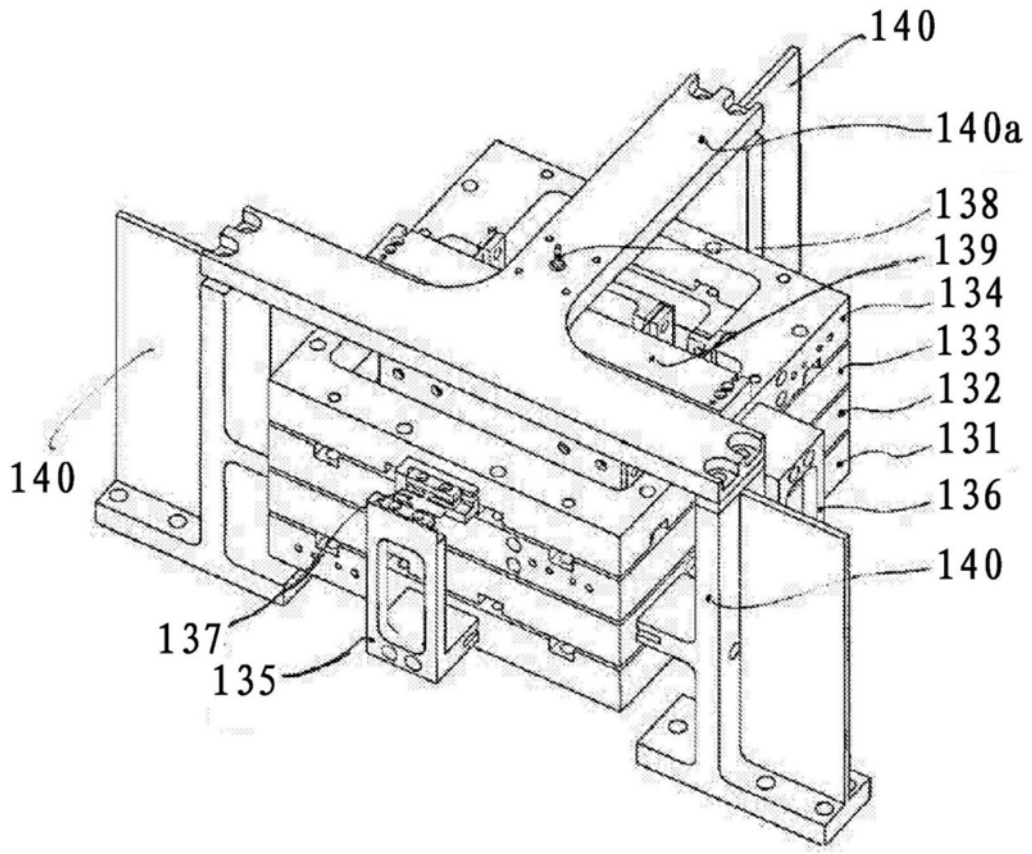


图30

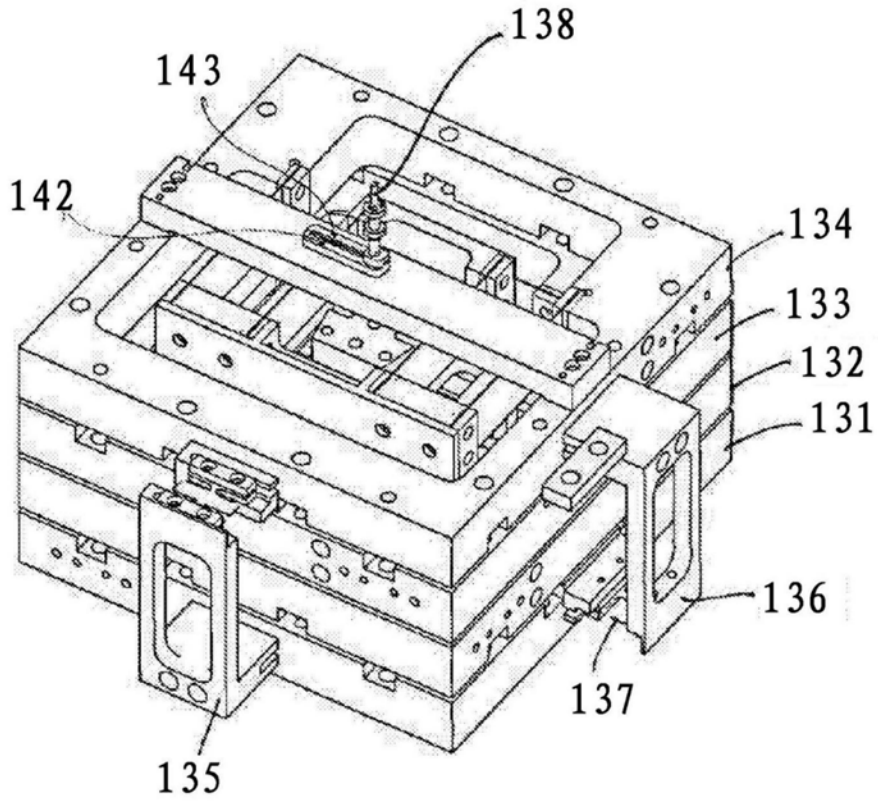


图31

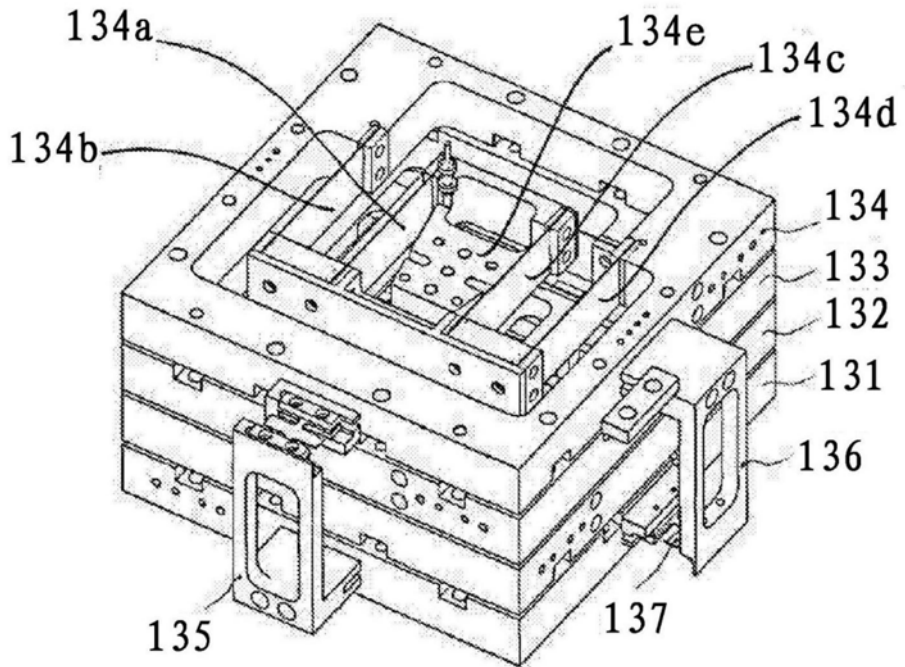


图32

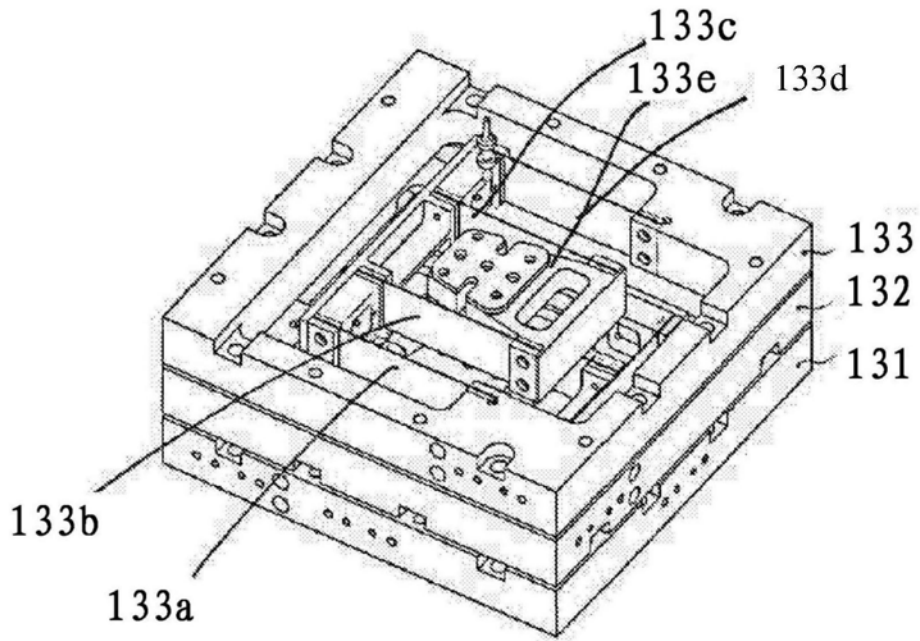


图33

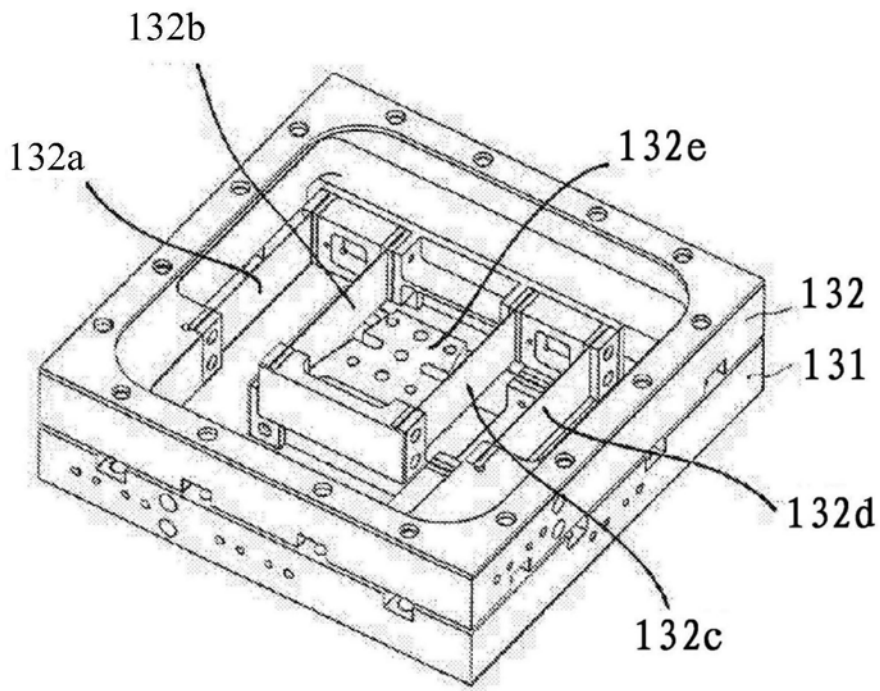


图34

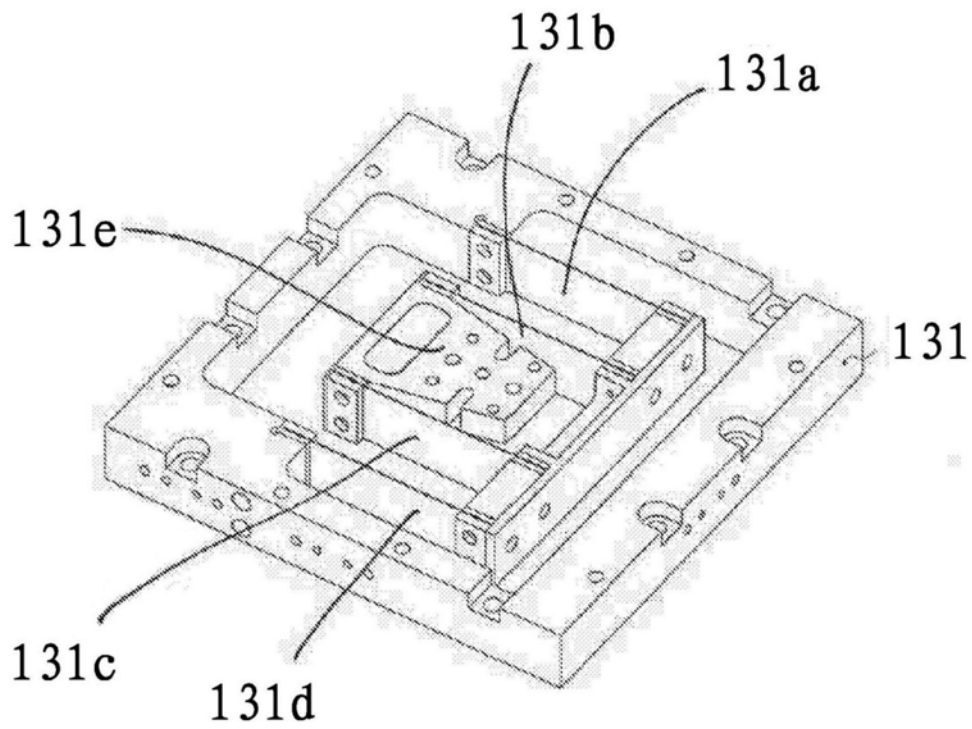


图35

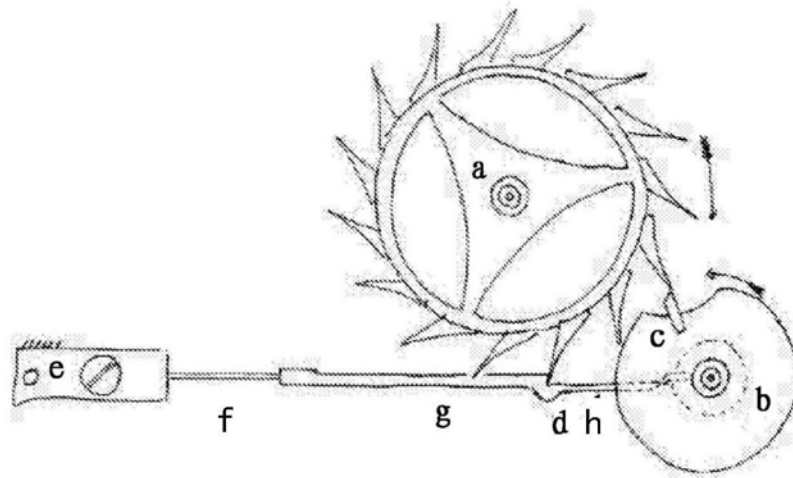


图36

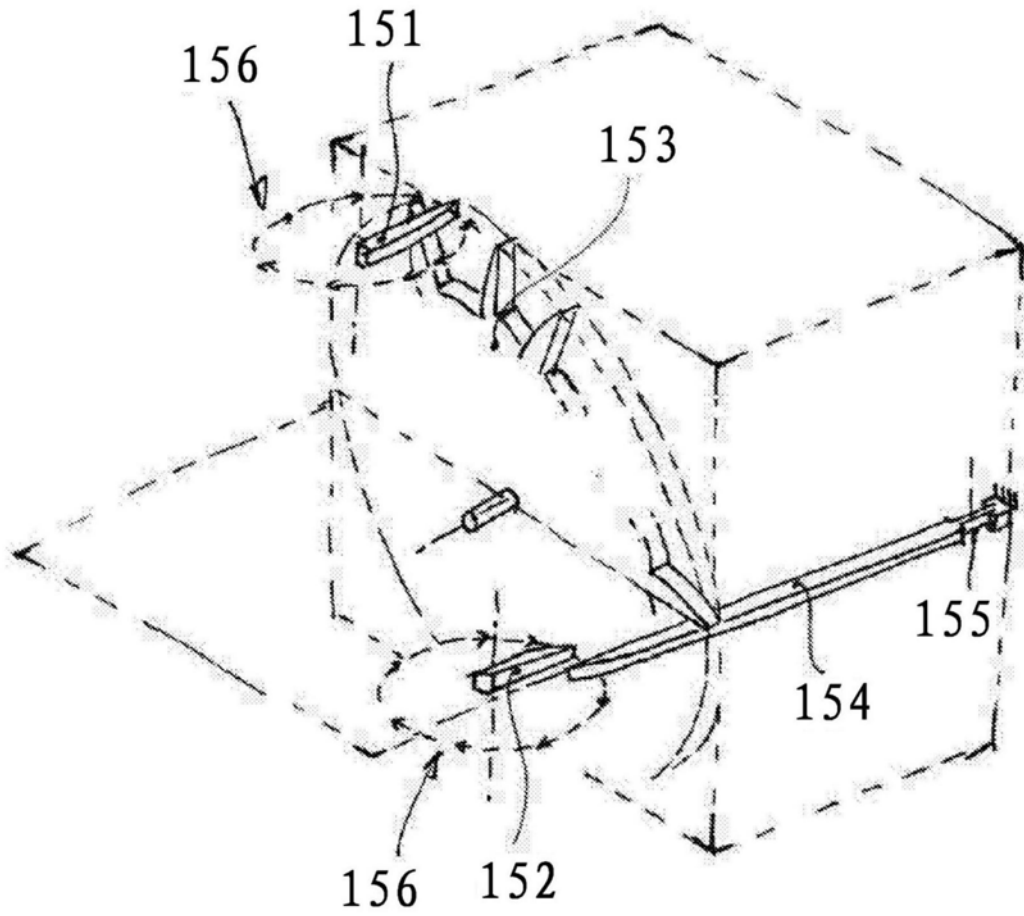


图37

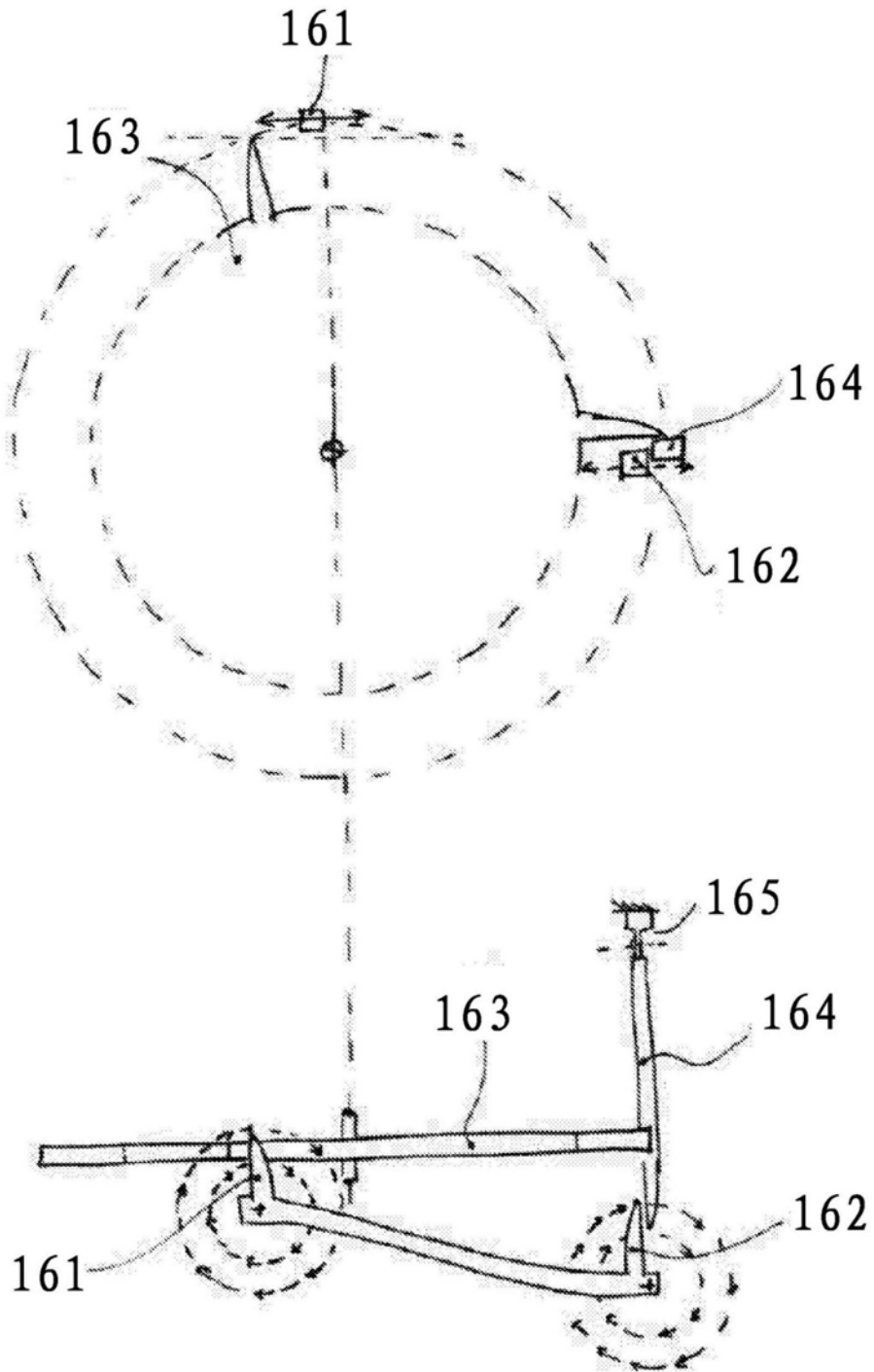


图38

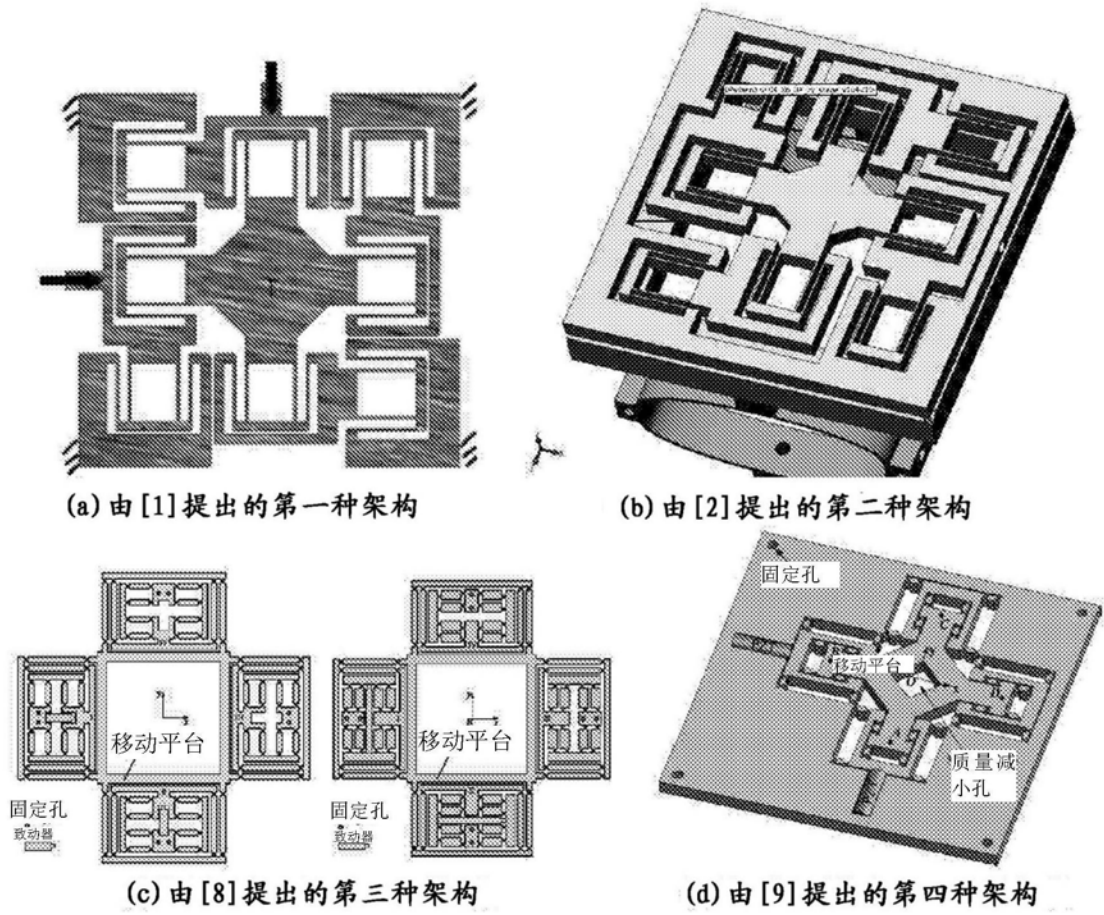


图39

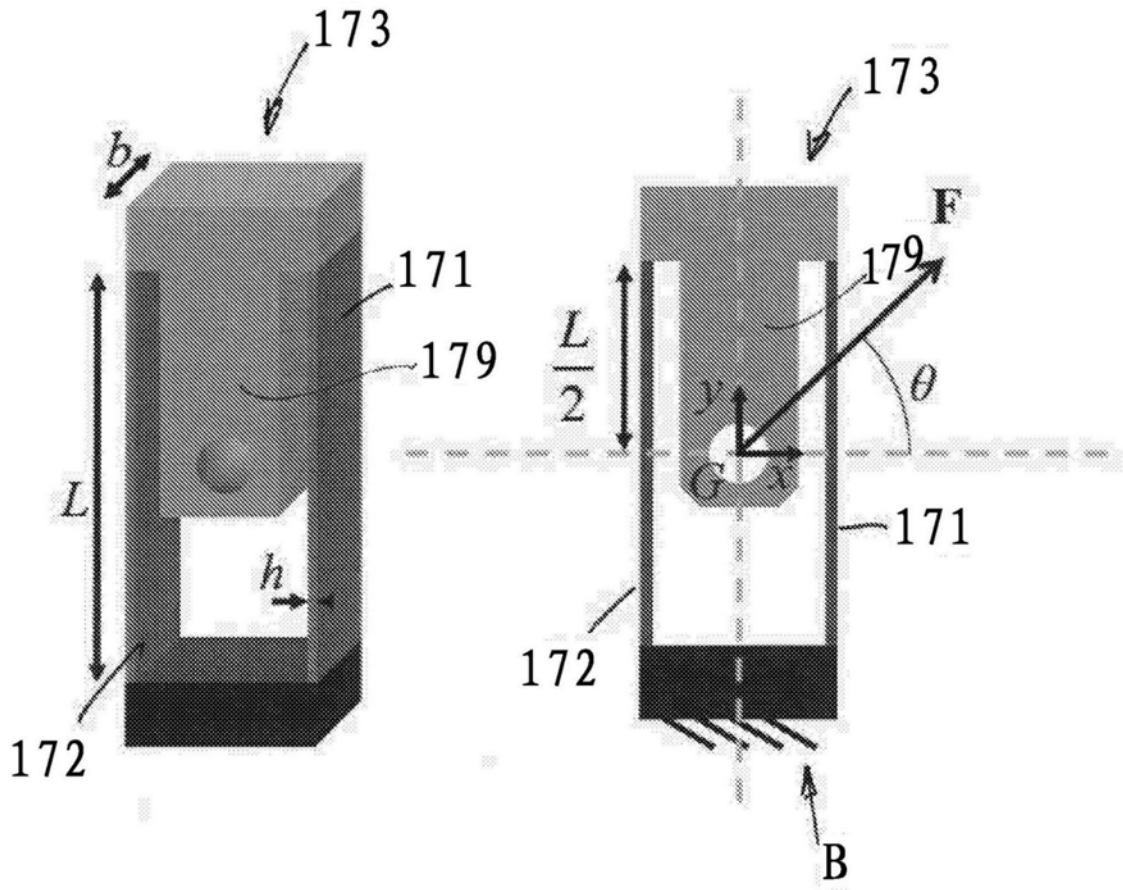


图40

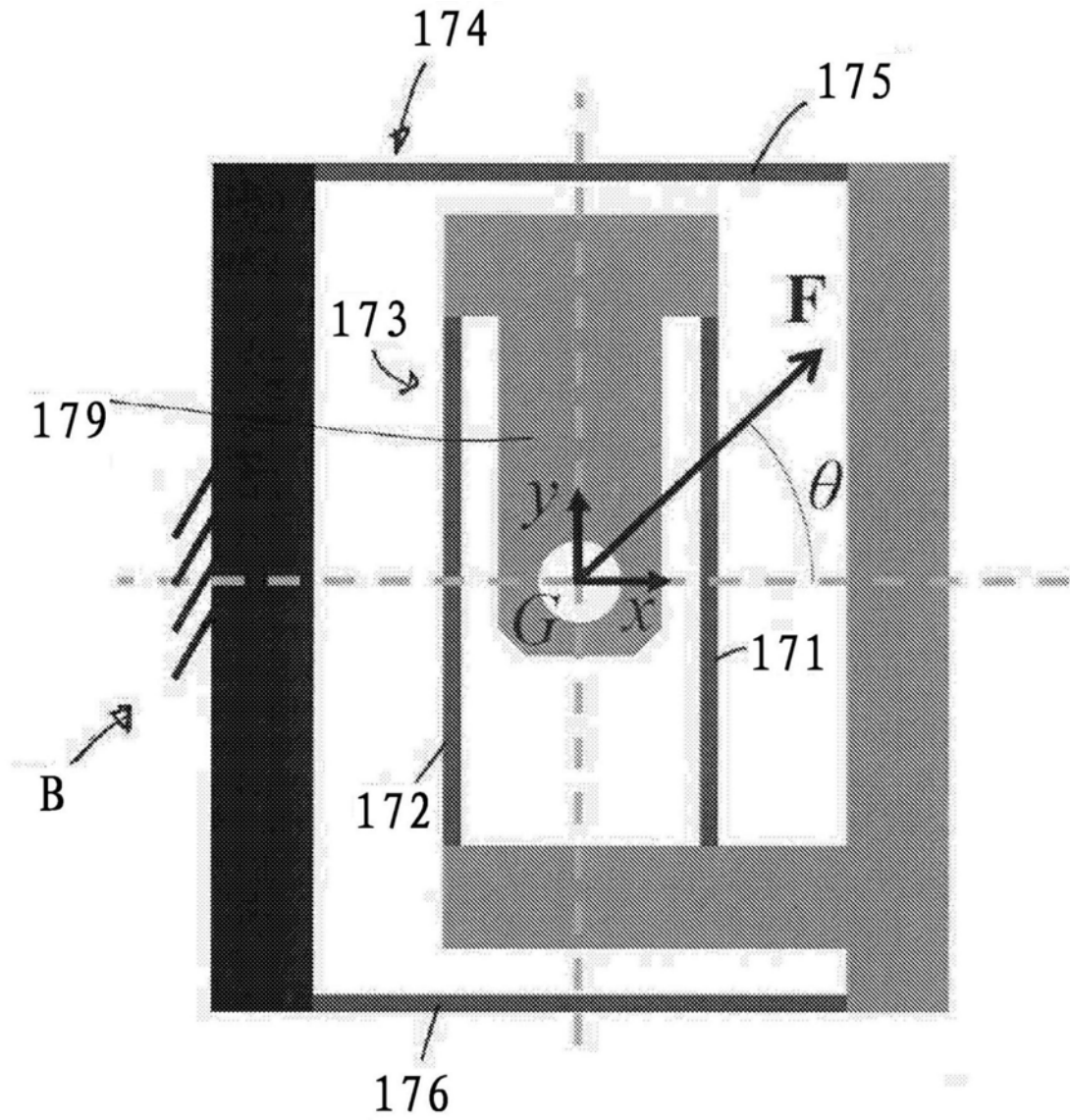


图41

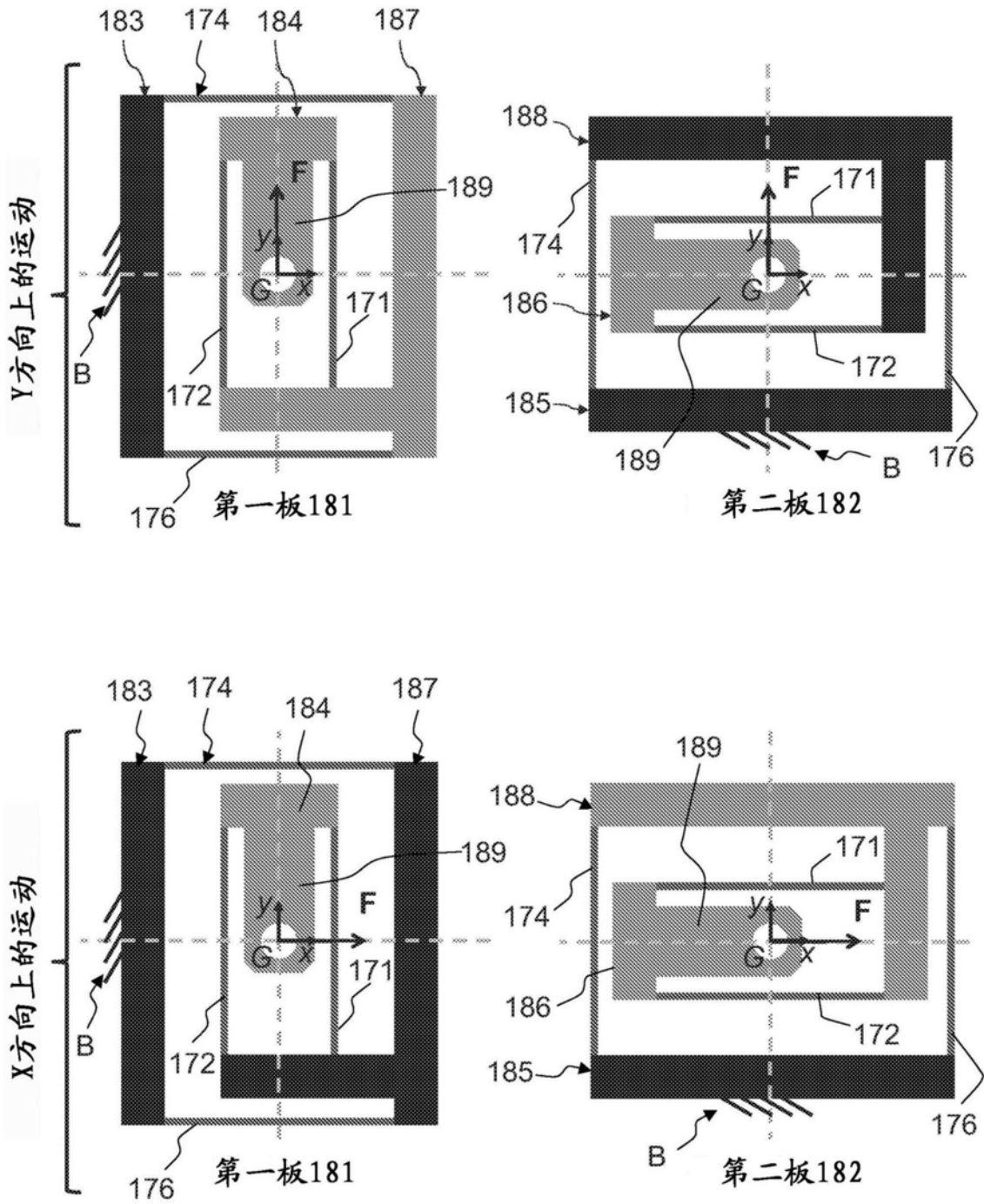


图42

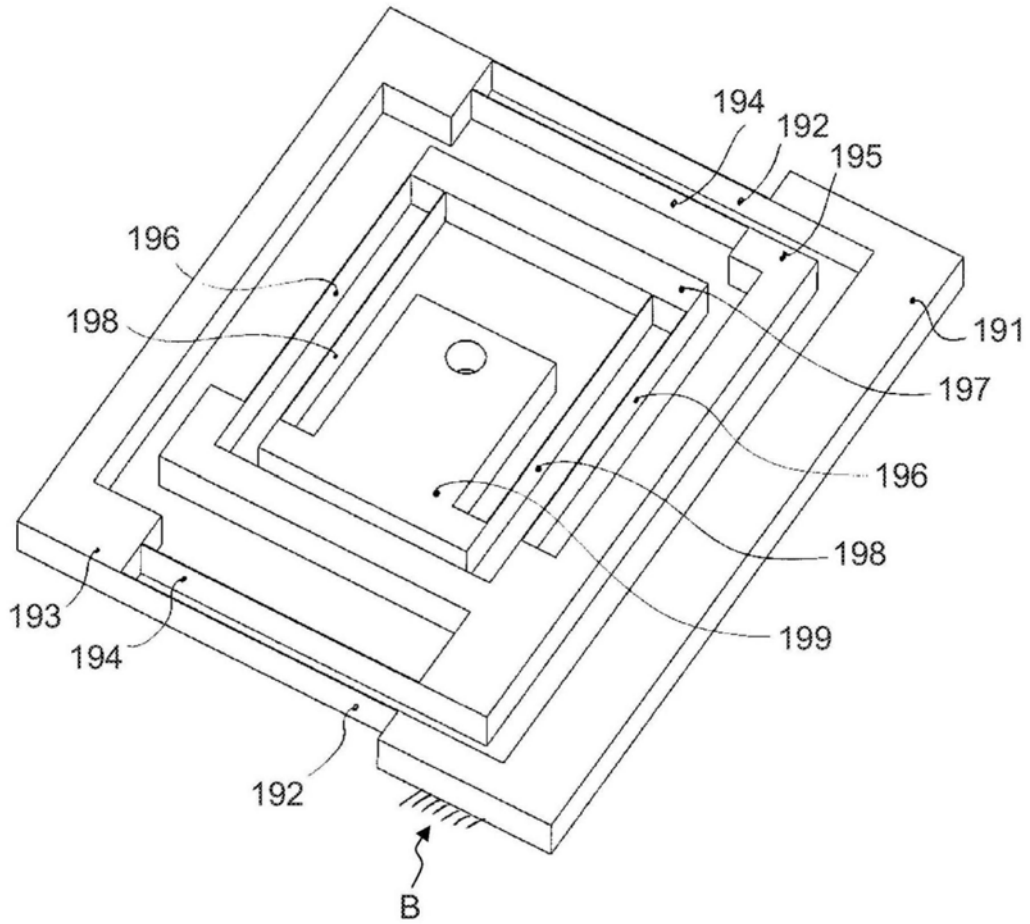


图43

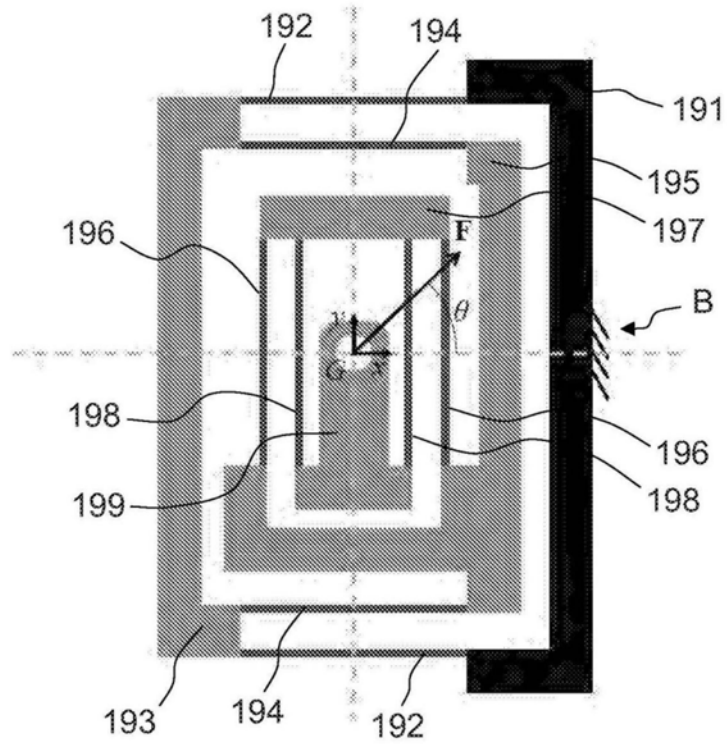


图44

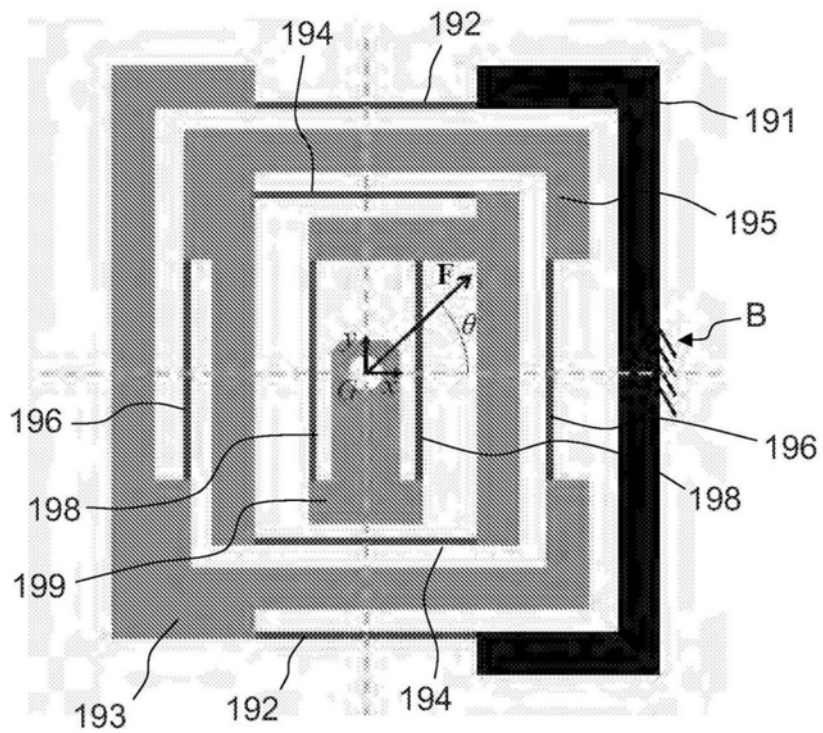


图45

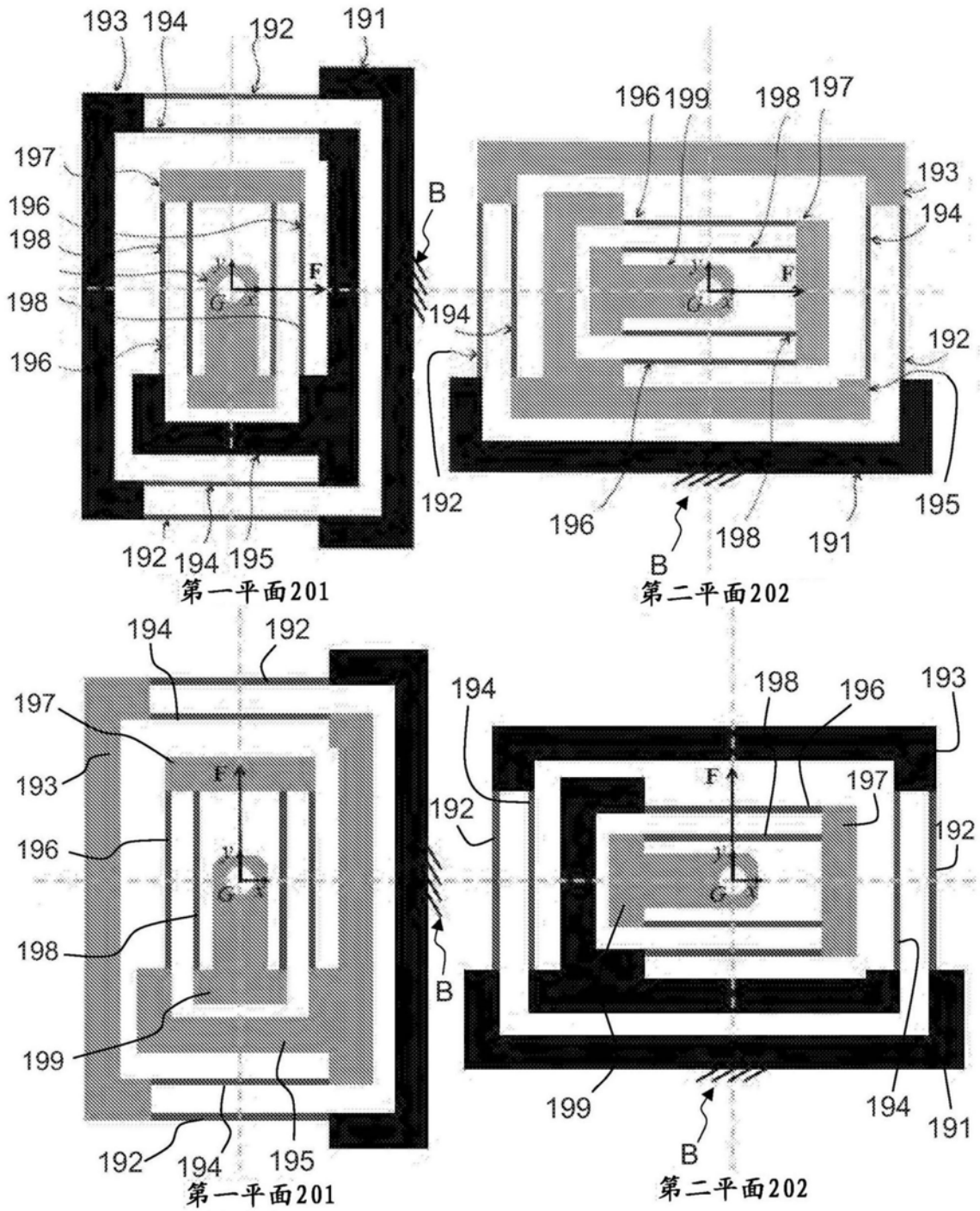


图46

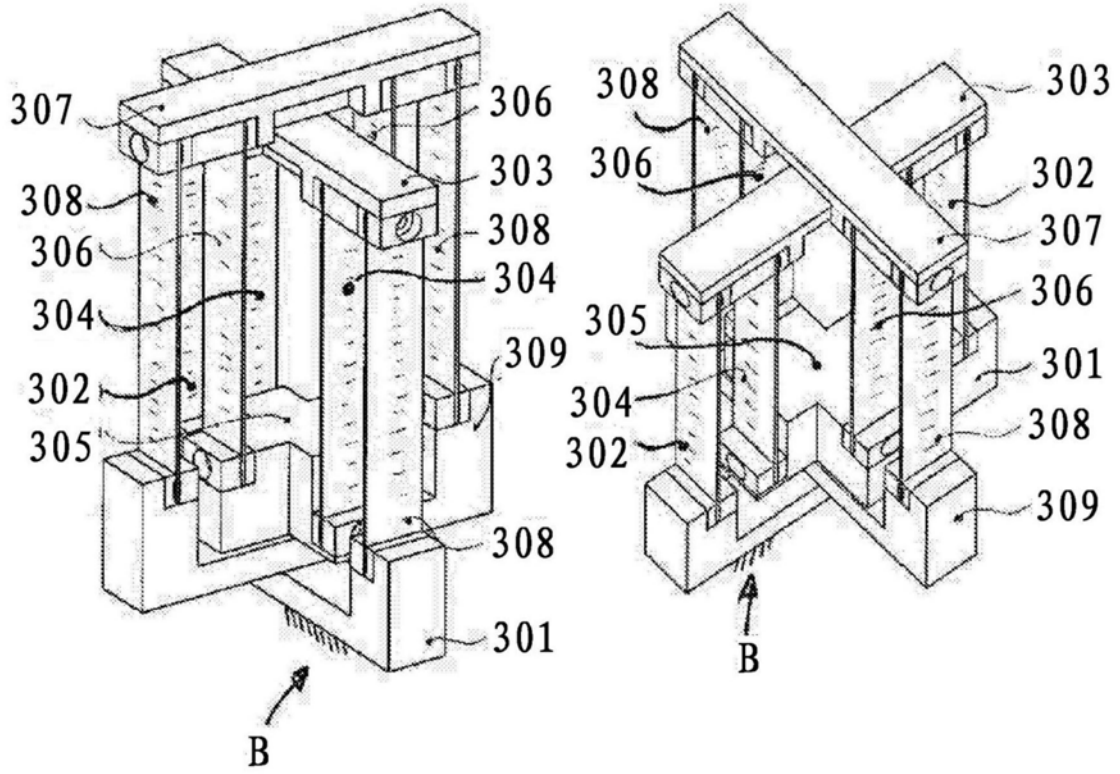


图47

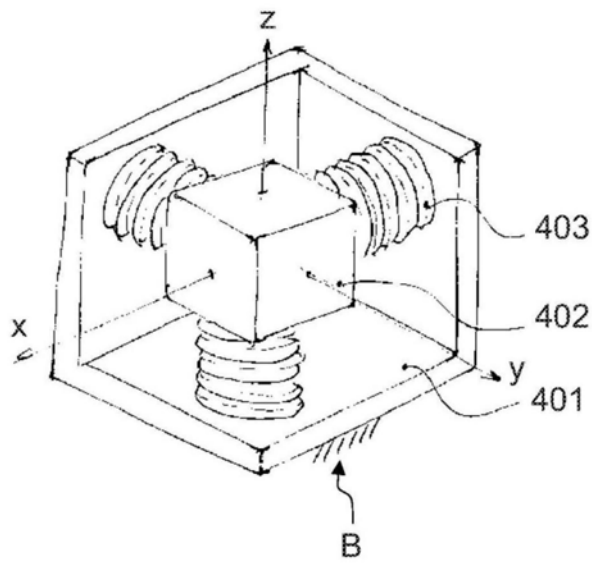
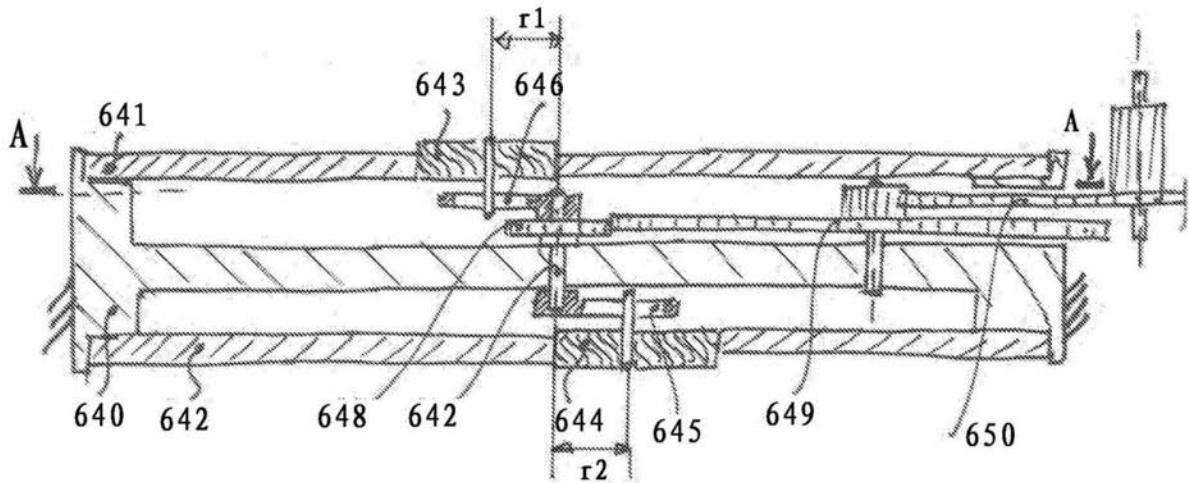


图48

动态平衡  $\theta_1$  和  $\theta_2$  耦合  $r_1$  和  $r_2$  解耦



A-A 640 图49B

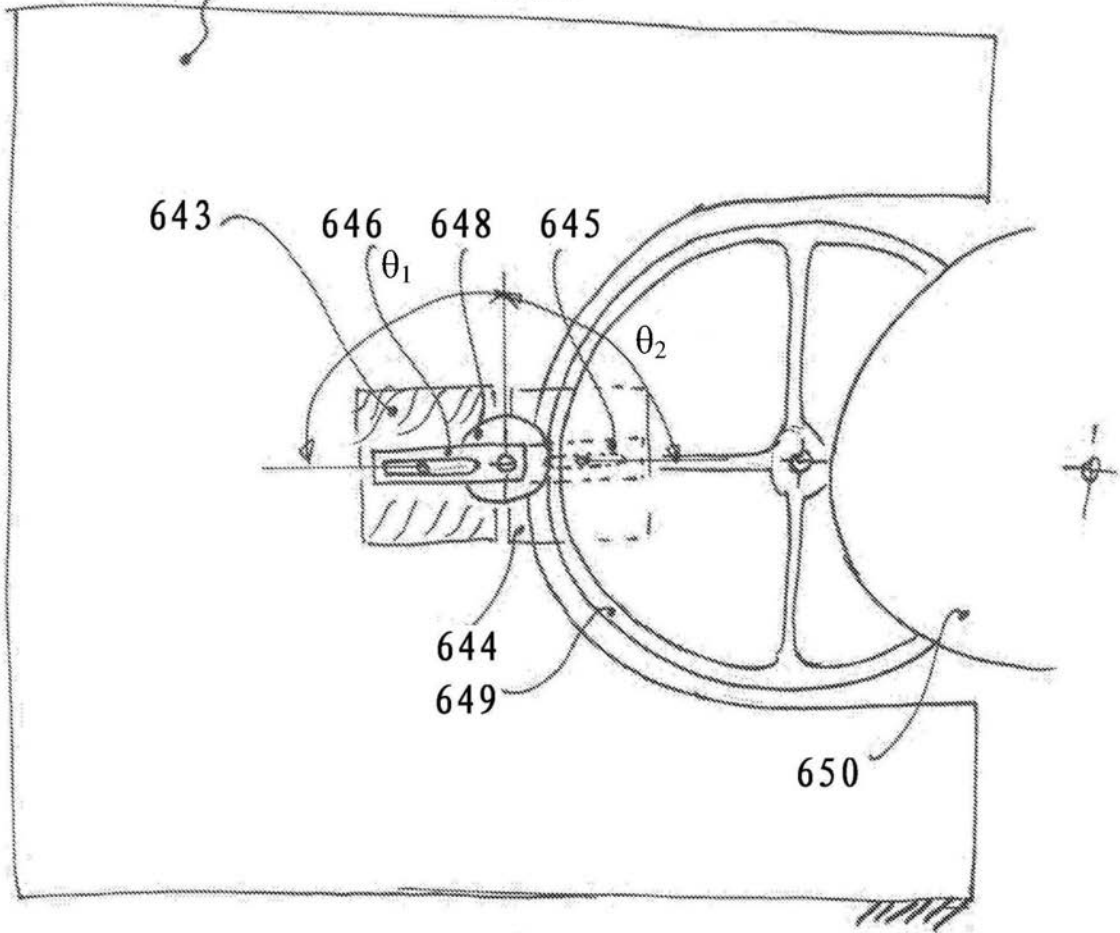
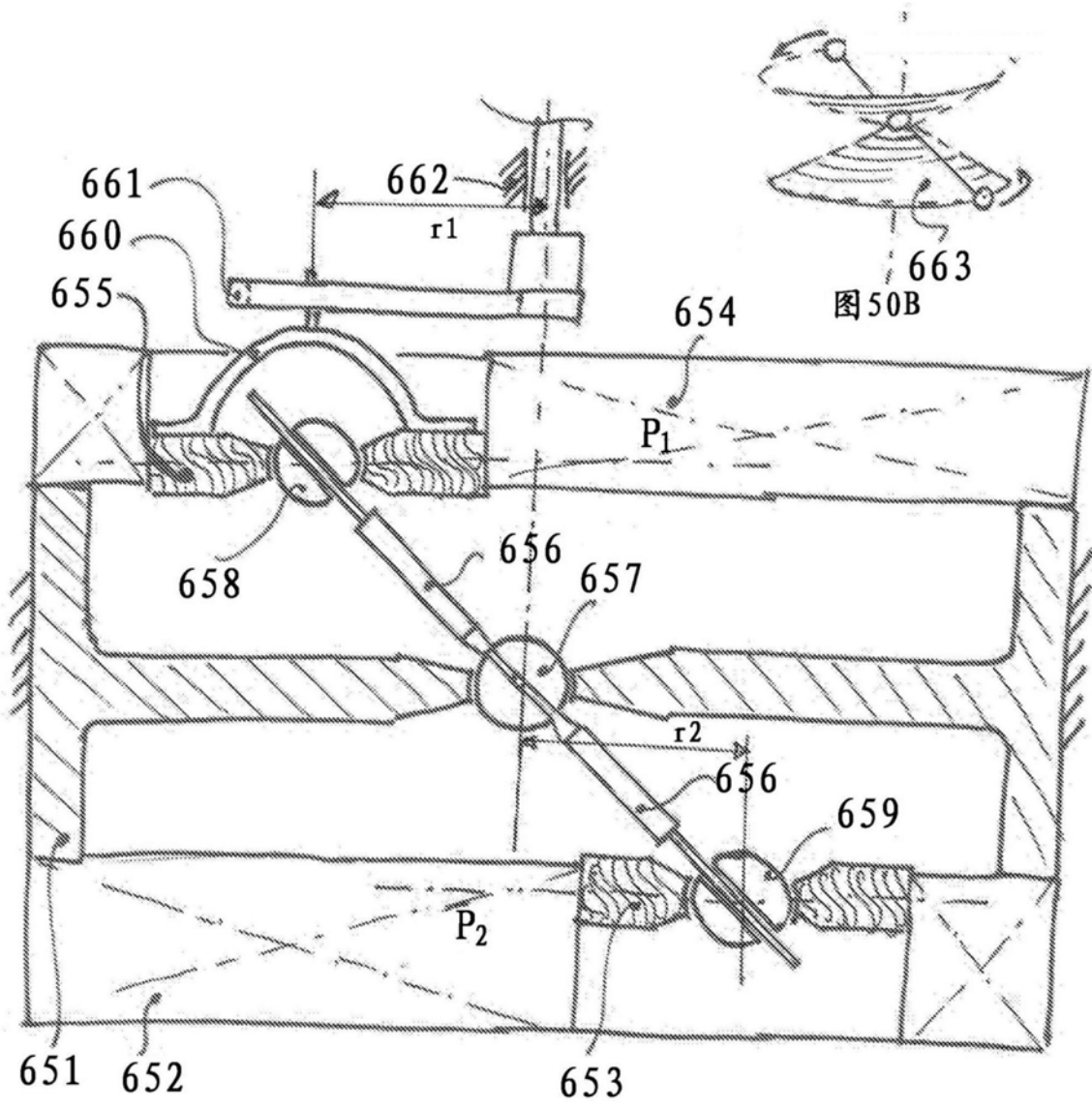


图49A



动态平衡  
 $\theta_1$ 和 $\theta_2$ 耦合  
 $r_1$ 和 $r_2$ 耦合  
基于三个球窝接头和两个滑动连接

图50A

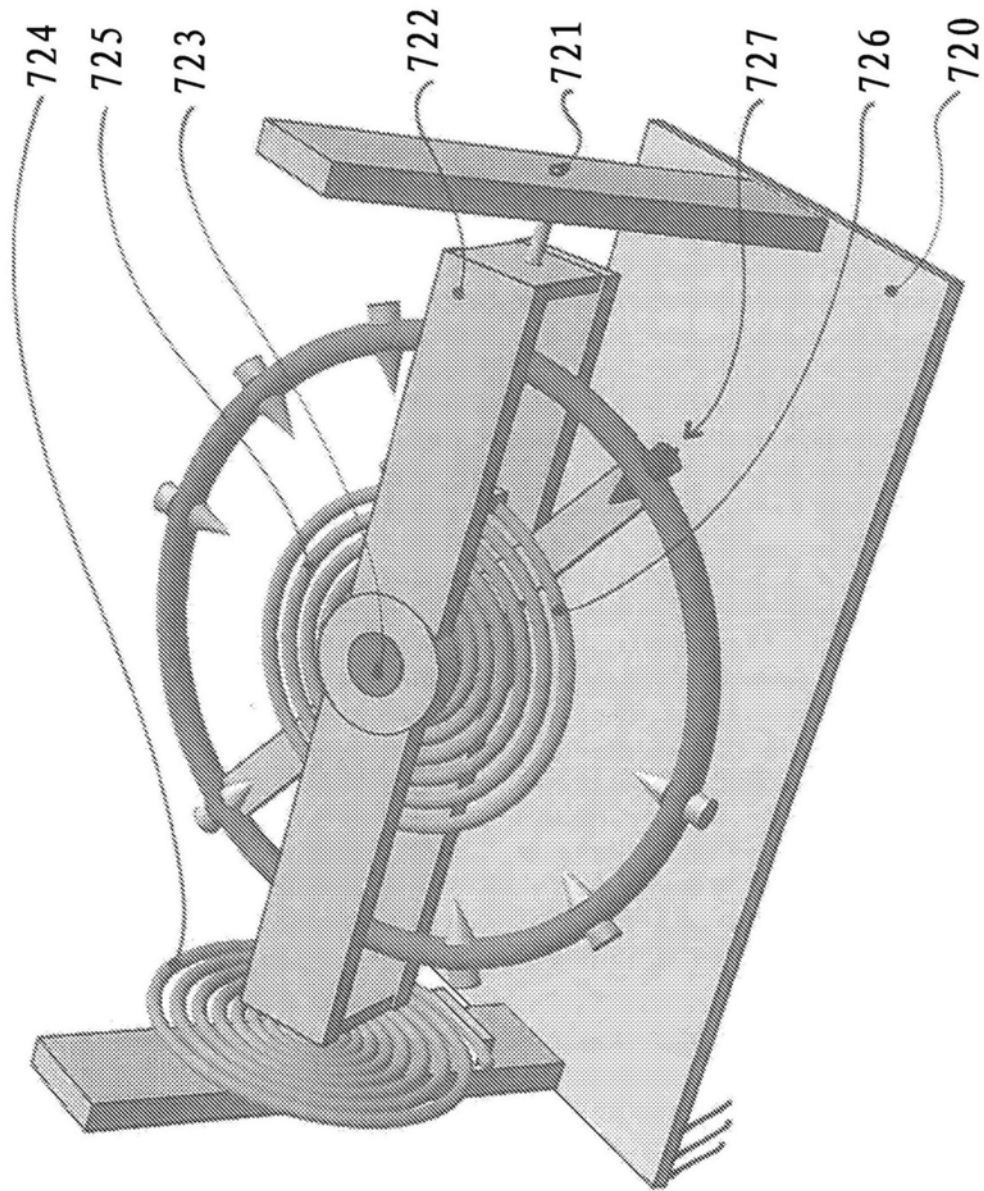


图51

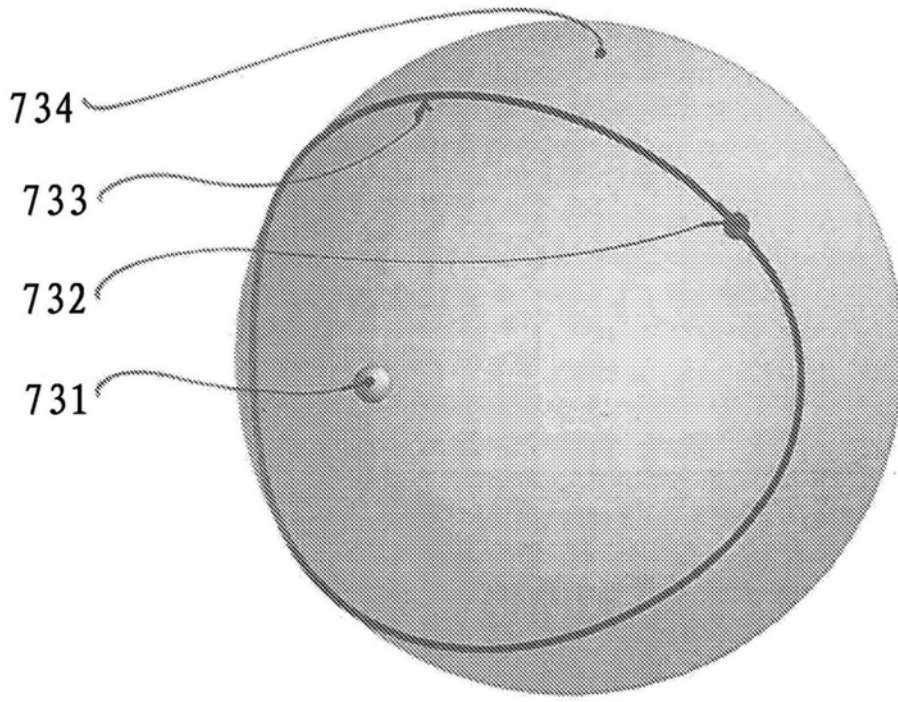


图52

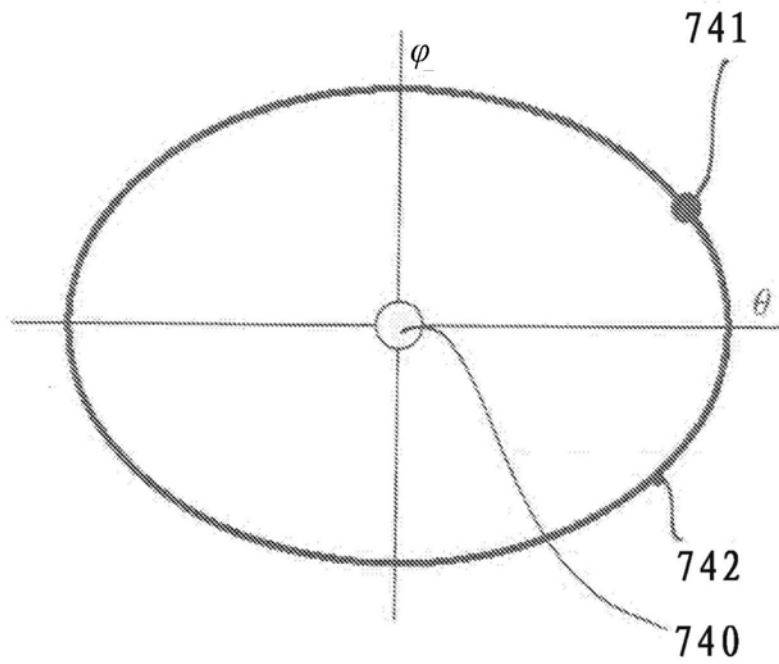


图53

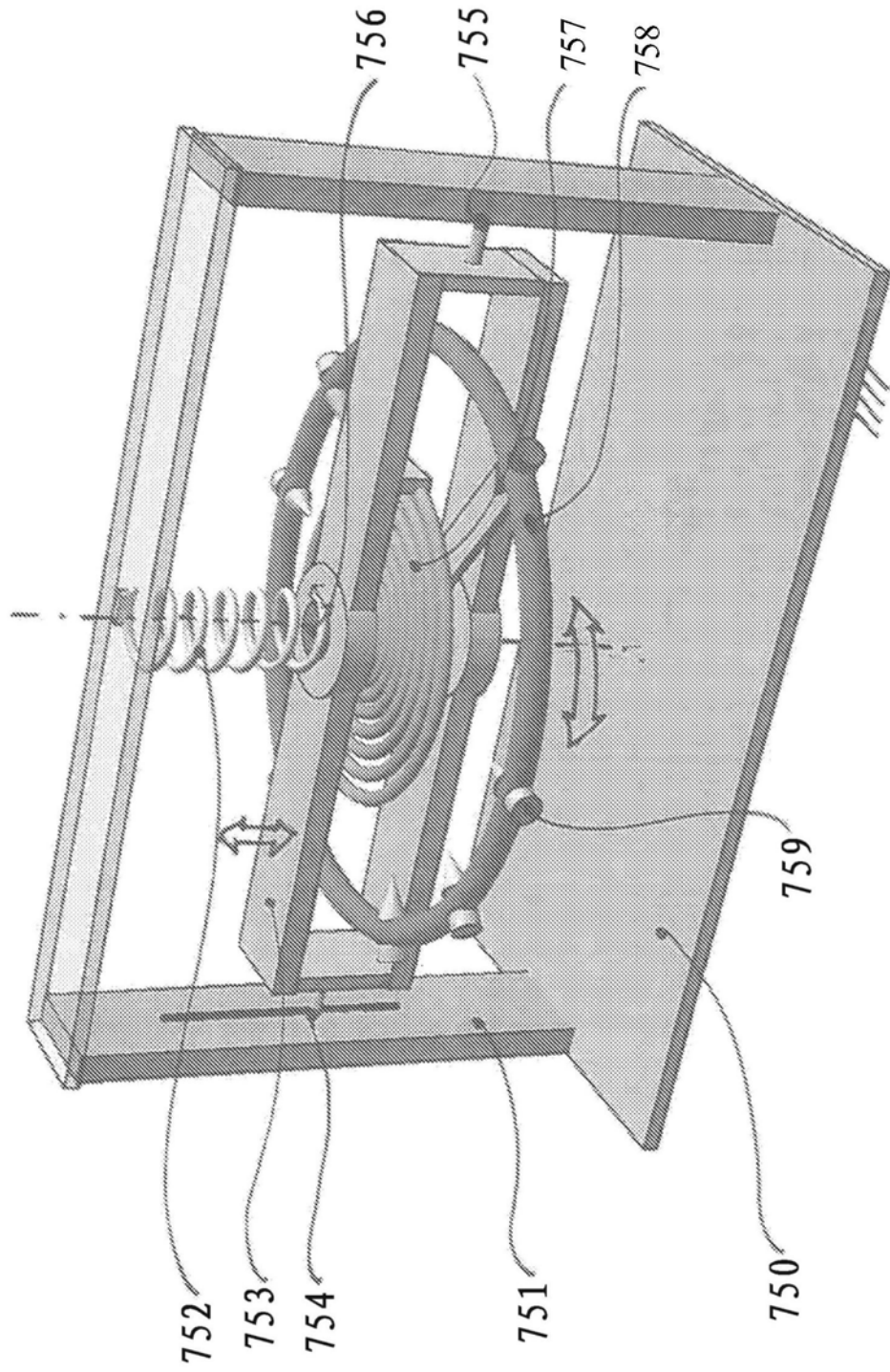


图54

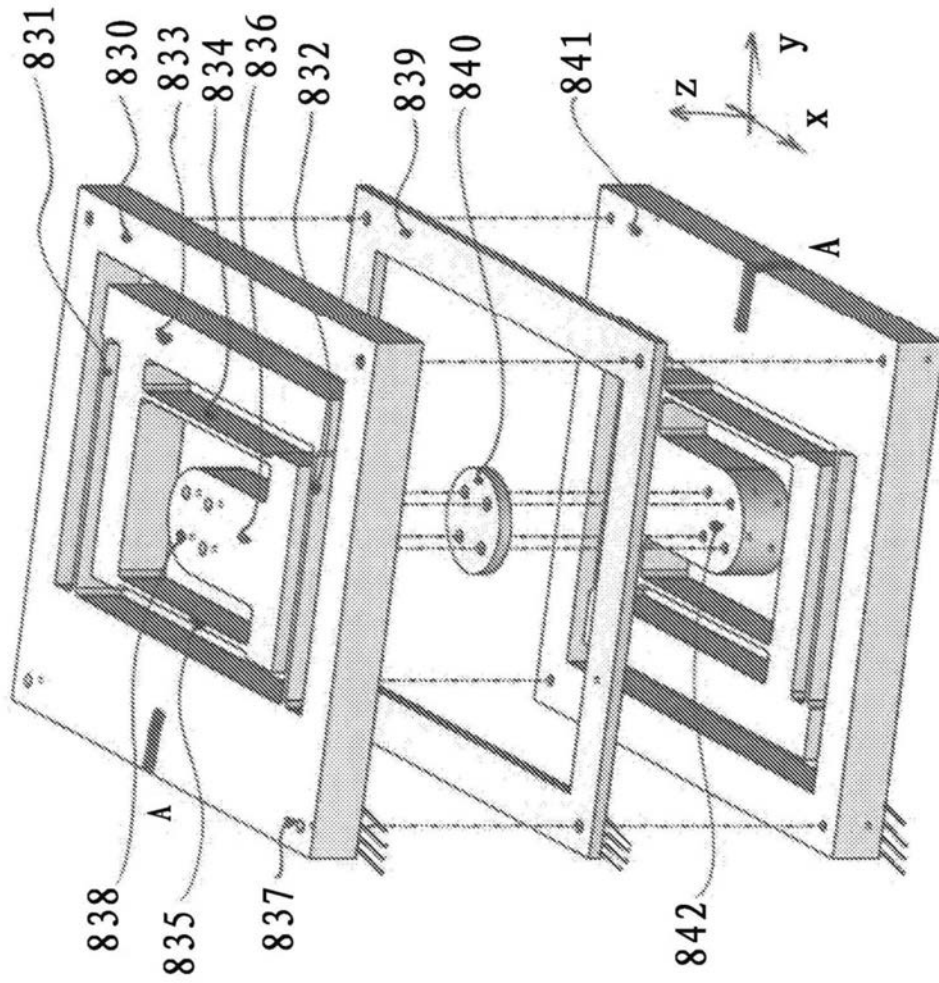


图55

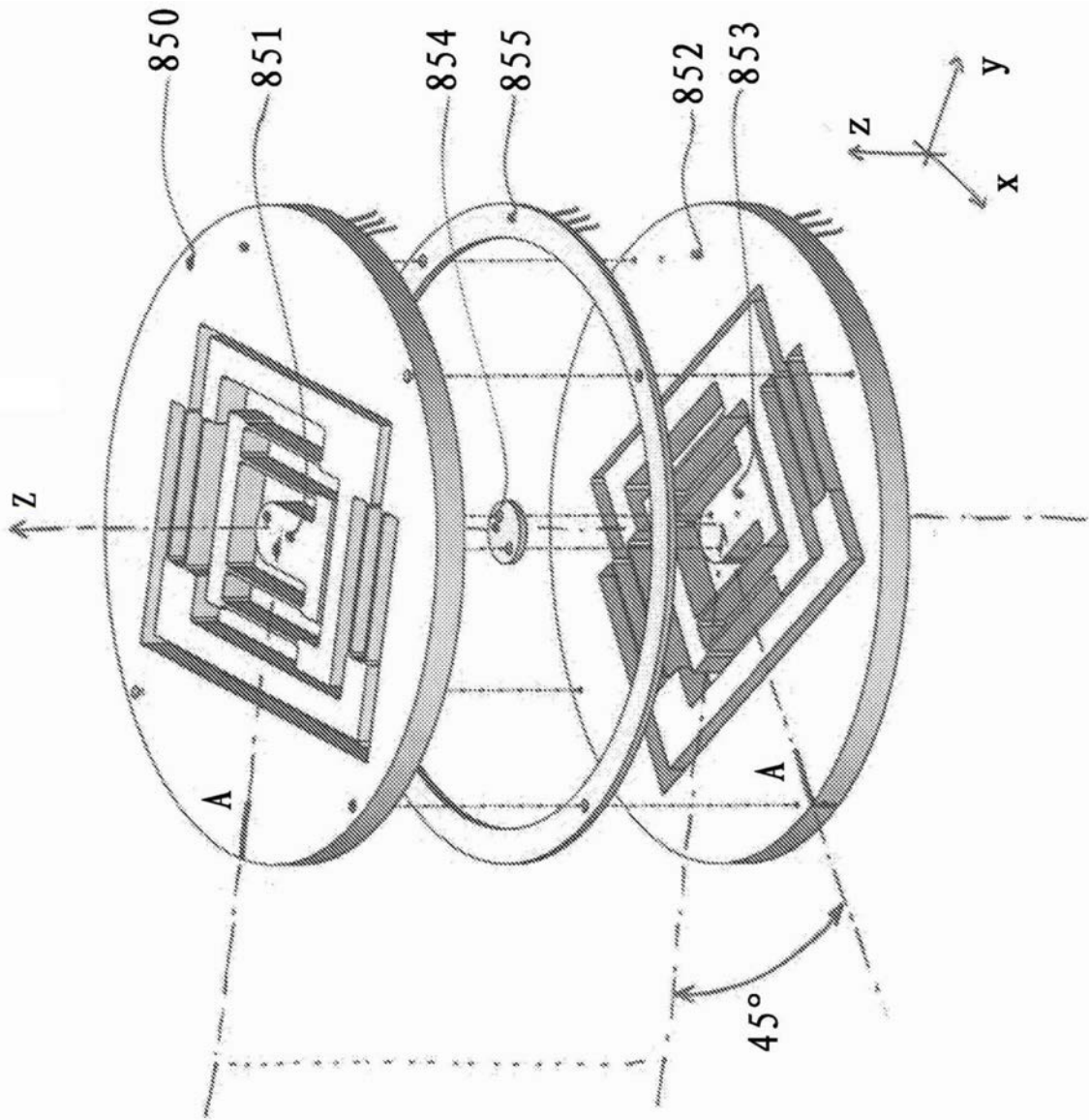


图56

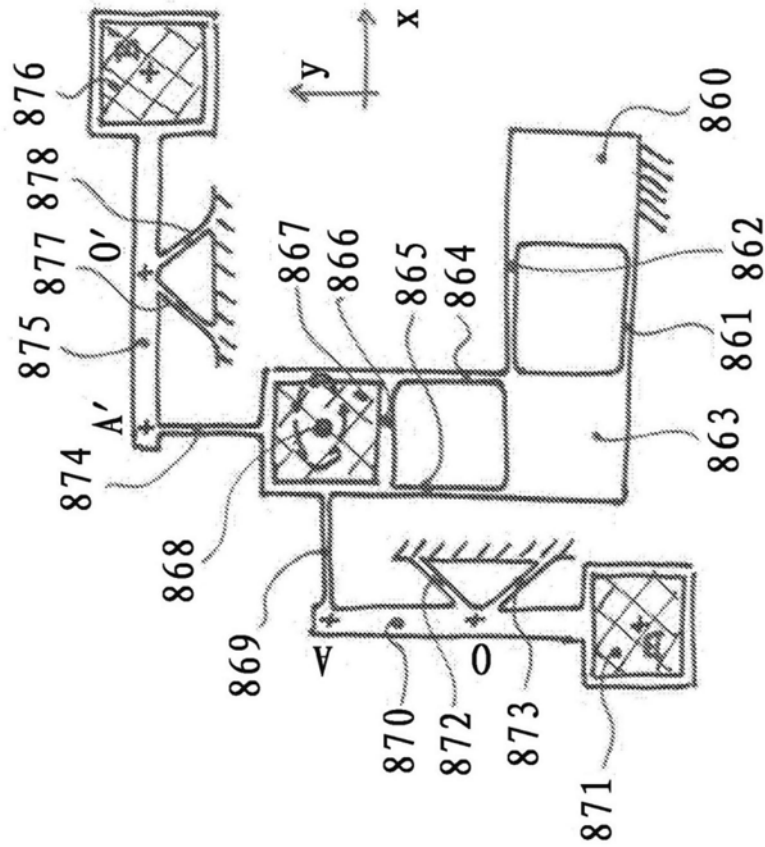


图57

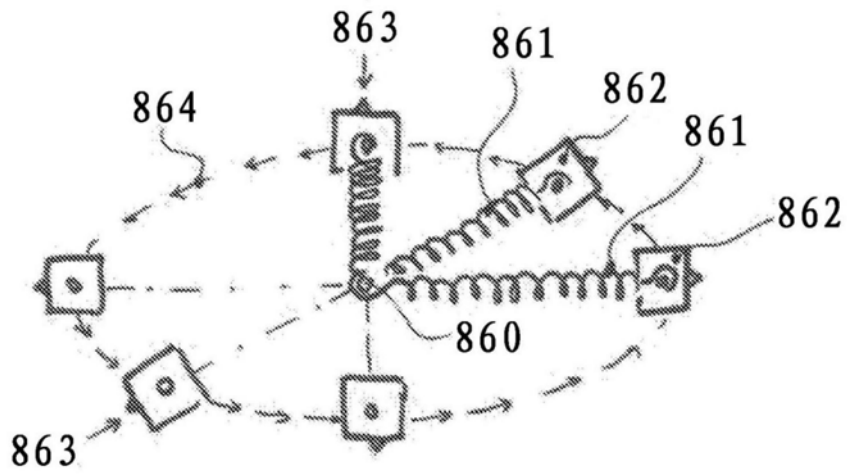


图58

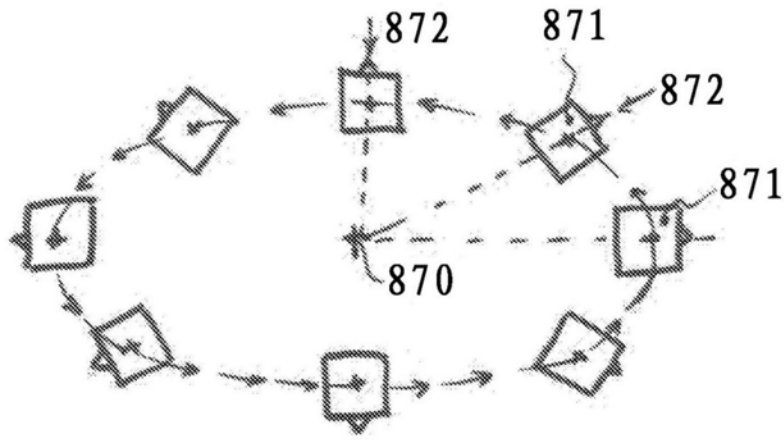


图59

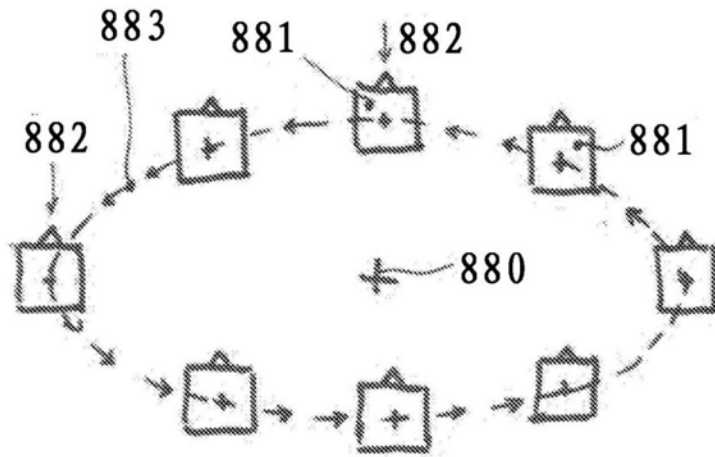


图60

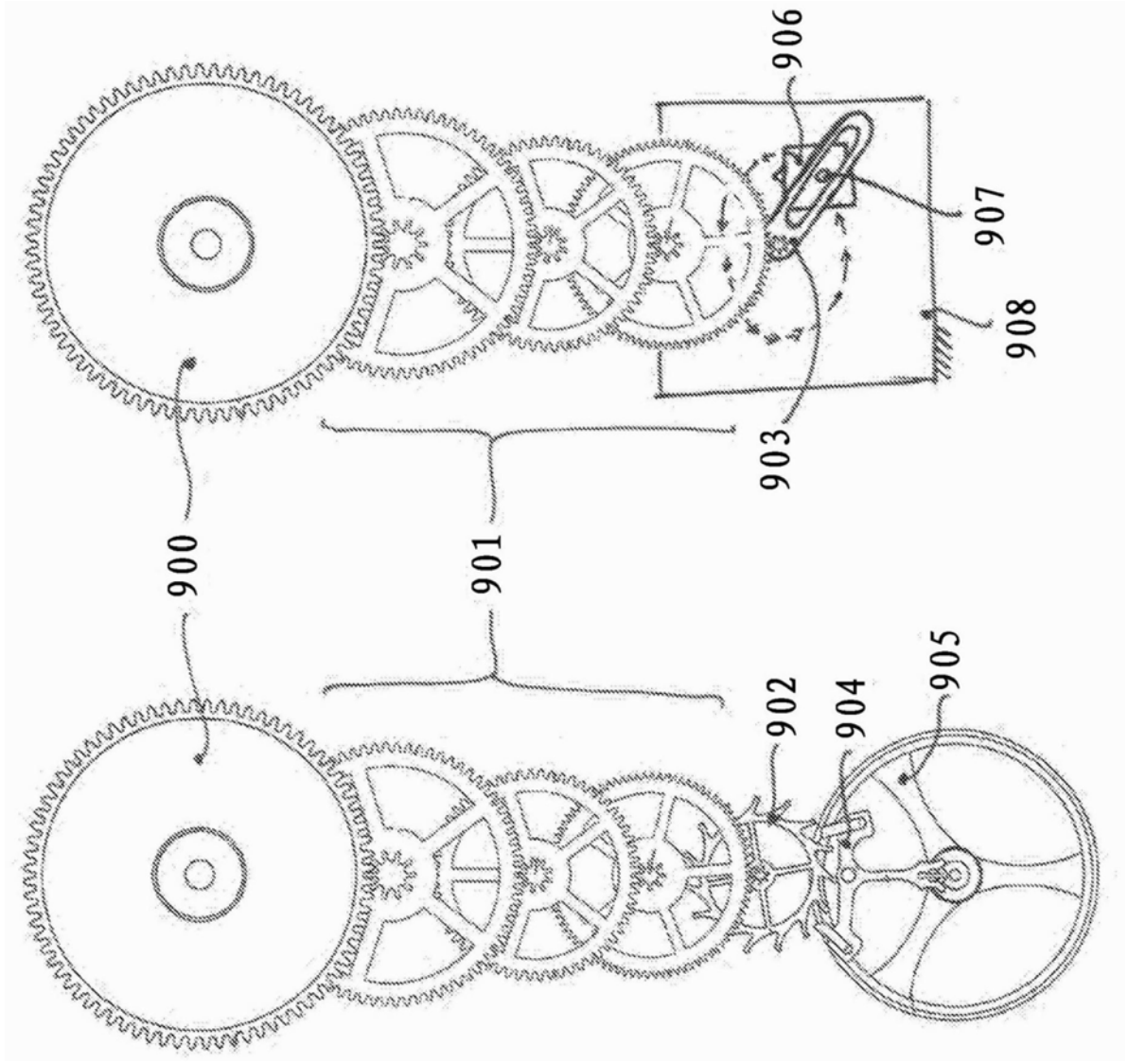


图61

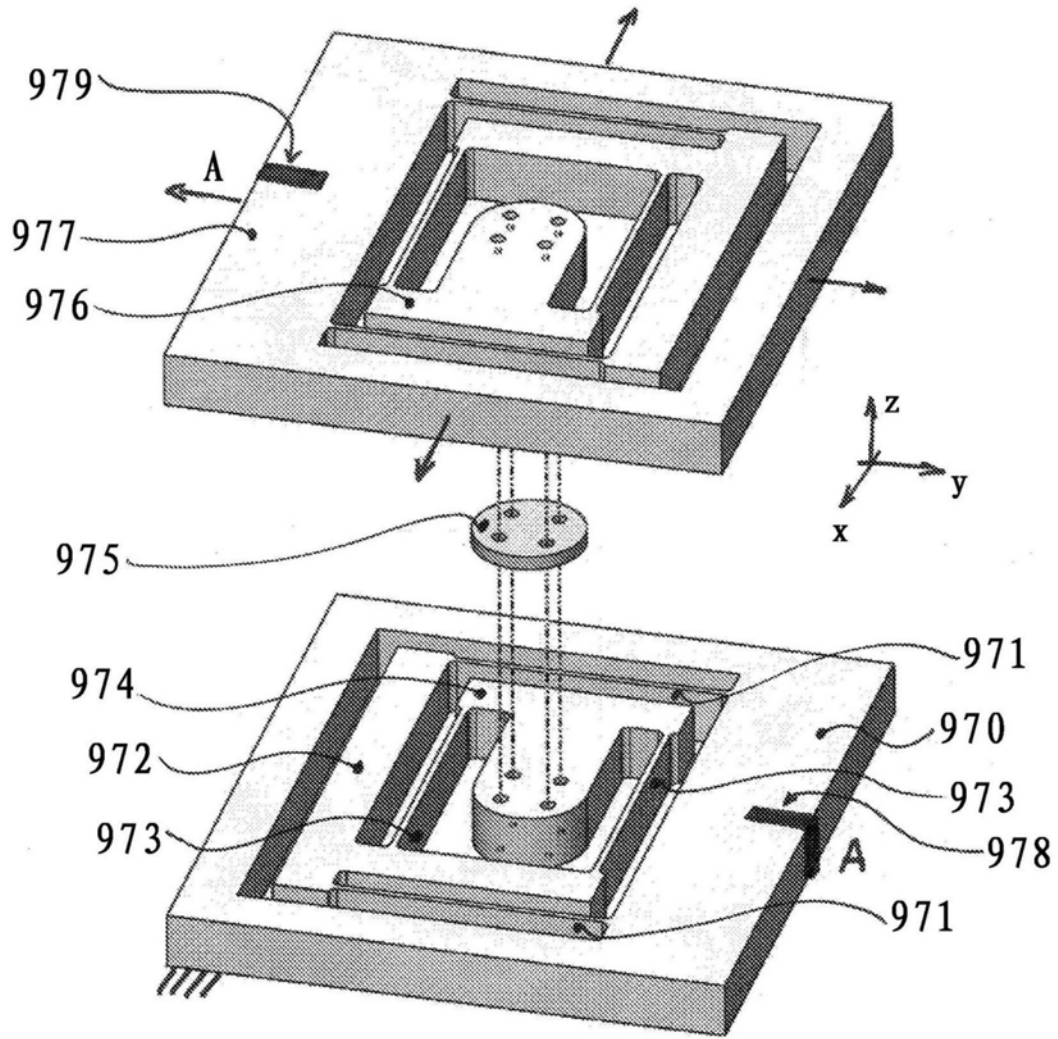


图62

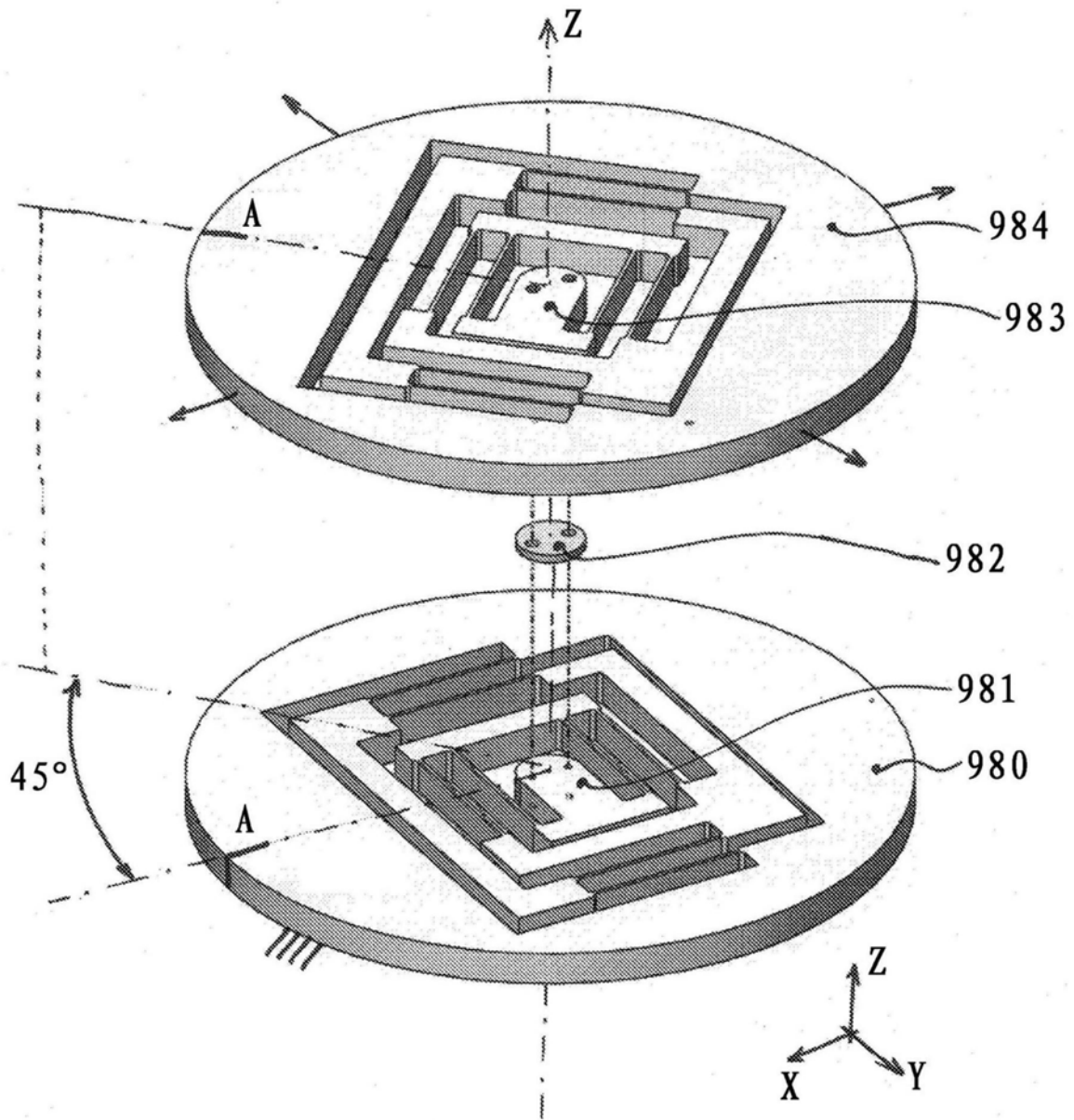


图63