



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104781677 A

(43) 申请公布日 2015. 07. 15

(21) 申请号 201380057287. 5

(74) 专利代理机构 北京润平知识产权代理有限公司 11283

(22) 申请日 2013. 09. 04

代理人 孙向民 肖冰滨

(30) 优先权数据

1215750. 9 2012. 09. 04 GB

(51) Int. Cl.

G01P 15/097(2006. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

G01P 15/18(2013. 01)

2015. 04. 30

G01K 7/32(2006. 01)

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/GB2013/000375 2013. 09. 04

G01P 1/00(2006. 01)

(87) PCT国际申请的公布数据

W02014/037695 EN 2014. 03. 13

(71) 申请人 剑桥企业有限公司

地址 英国剑桥市

(72) 发明人 A·A·塞西亚 P·希鲁文卡塔纳森

X·邹

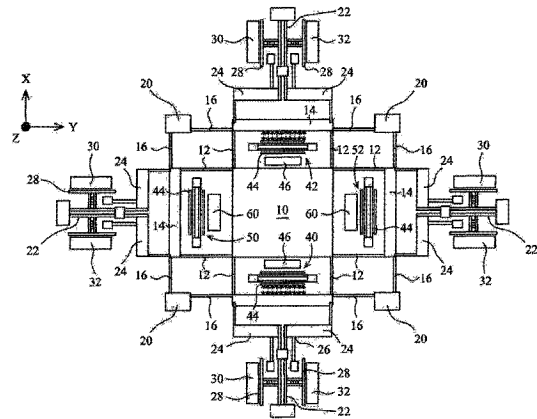
权利要求书4页 说明书9页 附图6页

(54) 发明名称

双轴和三轴惯性传感器及惯性感测方法

(57) 摘要

一种惯性传感器,该惯性传感器包括:框架;悬挂于框架的检验质量块;第一谐振元件对,该第一谐振元件对电耦合至检验质量块或电耦合至中间组件,该中间组件机械耦合至检验质量块,每个第一谐振元件相对于另一个耦合至检验质量块的对侧,第一谐振元件实质上彼此相同且当传感器不加速时,具有与检验质量块实质上相同的静电耦合;第一谐振元件和检验质量块实质上位于一个平面内,且其中检验质量块正交于平面的相对于第一谐振元件的移动改变检验质量块和第一谐振元件之间的静电耦合;驱动装置,耦合至第一谐振元件,使第一谐振元件中的每一者振动;以及传感器组件,检测第一谐振元件中每一者的谐振频率的偏移;以及处理装置,对第一谐振元件中每一者的偏移求和以提供与第一轴平行的检验质量块的加速度的测量,第一轴与平面正交。



1. 一种惯性传感器,该惯性传感器包括:

框架;

检验质量块,该检验质量块悬挂于所述框架;

第一谐振元件对,该第一谐振元件对电耦合至所述检验质量块或电耦合至中间组件,该中间组件机械耦合至所述检验质量块,每一个第一谐振元件相对于另一个第一谐振元件耦合至所述检验质量块的对侧,所述第一谐振元件实质上彼此相同并且当所述传感器不加速时,具有与所述检验质量块实质上相同的静电耦合;

其中,所述第一谐振元件和检验质量块实质上位于一个平面内,并且其中所述检验质量块正交于所述平面的相对于所述第一谐振元件的移动改变所述检验质量块和所述第一谐振元件之间的所述静电耦合;

驱动装置,该驱动装置耦合至所述第一谐振元件,用于使所述第一谐振元件中的每一者振动;以及

传感器组件,用于检测所述第一谐振元件中每一者的谐振频率的偏移;以及

处理装置,用于对所述第一谐振元件中每一者的所述偏移求和以提供与第一轴平行的所述检验质量块的加速度的测量,所述第一轴与所述平面正交。

2. 根据权利要求 1 所述的惯性传感器,所述惯性传感器还包括第二谐振元件,该第二谐振元件耦合至所述检验质量块,所述第二谐振元件被配置以允许对与第二轴平行、与所述第一轴正交的加速度的测量;

其中,所述驱动装置被耦合至所述第二谐振元件以使所述第二谐振元件振动,并且所述传感器组件检测所述第二谐振元件的谐振频率的偏移。

3. 根据权利要求 2 或 3 所述的惯性传感器,其中所述第二谐振元件被机械耦合至所述检验质量块。

4. 根据权利要求 2 或 3 所述的惯性传感器,所述惯性传感器还包括第三谐振元件,该第三谐振元件耦合至所述检验质量块,所述第三谐振元件被配置以允许对与第三轴平行的加速度的测量,其中所述第三轴与所述第一轴和所述第二轴正交;

其中所述驱动装置被耦合至所述第三谐振元件以使所述第三谐振元件振动,并且所述传感器组件检测所述第三谐振元件的谐振频率的偏移。

5. 根据权利要求 4 所述的惯性传感器,其中所述第三谐振元件被机械耦合至所述检验质量块。

6. 根据权利要求 4 或 5 所述的惯性传感器,所述惯性传感器包括第三谐振元件对,每个第三谐振元件相对于另一个第三谐振元件被设置在所述检验质量块的对侧,所述第三谐振元件彼此相同。

7. 根据权利要求 6 所述的惯性传感器,其中共模输出和差模输出均从所述第三谐振元件对中读取,所述共模输出提供温度测量,并且所述差模输出提供加速度测量。

8. 根据权利要求 2 至 7 中任意一项权利要求所述惯性传感器,所述惯性传感器包括第二谐振元件对,每个第二谐振元件相对于另一个第二谐振元件被设置在所述检验质量块的对侧,所述第二谐振元件彼此相同。

9. 根据上述任意一项权利要求所述的惯性传感器,所述惯性传感器还包括所述检验质量块和所述框架之间的机械台,所述机械台被配置以解耦合所述检验质量块在所述平面内

两个正交方向的移动,其中所述第二谐振元件或第三谐振元件,或者所述第二谐振元件和第三谐振元件被机械耦合至所述机械台。

10. 根据上述任意一项权利要求所述的惯性传感器,所述惯性传感器还包括第四谐振元件,其中所述第四谐振元件与所述第一谐振元件实质上相同但是不电耦合至所述检验质量块。

11. 根据上述任意一项权利要求所述的惯性传感器,所述惯性传感器还包括至少一个放大杆,该至少一个放大杆被耦合在所述检验质量块或机械台和所述第一谐振元件、第二谐振元件或第三谐振元件中的一者之间以机械地放大传递的力。

12. 根据上述任意一项权利要求所述的惯性传感器,其中所述谐振元件中的一者或多者是双端音叉谐振器。

13. 根据上述任意一项权利要求所述的惯性传感器,其中所述框架、检验质量块和谐振元件全部由经加工的硅形成。

14. 一种使用微机械平面惯性传感器的平面外加速度测量的方法,所述惯性传感器包括:框架;检验质量块,该检验质量块悬挂于所述框架;第一谐振元件对,该第一谐振元件对电耦合至所述检验质量块,每一个第一谐振元件相对于另一个第一谐振元件耦合至所述检验质量块的对侧,所述第一谐振元件实质上彼此相同并且当所述传感器不加速时,具有与所述检验质量块实质上相同的静电耦合;其中,所述第一谐振元件和检验质量块实质上位于一个平面内,并且其中所述检验质量块正交于所述平面的相对于所述第一谐振元件的移动改变所述检验质量块和所述第一谐振元件之间的静电耦合;以及驱动装置,该驱动装置耦合至所述第一谐振元件,用于使所述第一谐振元件中的每一者振动;所述方法包括:

检测每个所述第一谐振元件的谐振频率的偏移;以及

对每个所述第一谐振元件的偏移求和以提供与第一轴平行的检验质量块的加速度的测量,所述第一轴与所述平面正交。

15. 根据权利要求 14 所述的方法,其中所述惯性传感器包括进一步的谐振元件,其中所述进一步的谐振元件与所述第一谐振元件实质上相同并且不被电耦合至所述检验质量块,所述方法还包括以下步骤:

测量所述进一步的谐振元件的谐振频率的偏移或者有效刚度的偏移,以及

基于所述进一步的谐振元件的谐振频率的偏移来调整平行于第一轴的所述检验质量块的加速度的测量。

16. 一种惯性传感器,该惯性传感器包括:

框架;

机械台,该机械台悬挂于所述框架;

检验质量块,该检验质量块悬挂于所述机械台,所述机械台在两个正交方向操作地解耦合所述检验质量块的移动;

第一谐振元件,该第一谐振元件耦合至所述机械台的第一部分,所述机械台的第一部分平行于第一轴自由运动;

第二谐振元件,该第二谐振元件耦合至所述机械台的第二部分,所述机械台的第二部分平行于第二轴自由运动,所述第二轴与所述第一轴正交;

驱动装置,该驱动装置耦合至所述谐振元件以使所述谐振元件中的每一者振动;以及

传感器组件,用于检测所述第一谐振元件和第二谐振元件中每一者的谐振频率的偏移。

17. 根据权利要求 16 所述的惯性传感器,所述惯性传感器还包括至少一个位移放大杆,该至少一个位移放大杆耦合在所述机械台以及所述第一谐振元件和第二谐振元件中的一者之间。

18. 根据权利要求 16 或 17 所述的惯性传感器,所述惯性传感器包括第一谐振元件对,所述第一谐振元件中每一者被布置在所述机械台的对侧。

19. 根据权利要求 18 所述的惯性传感器,所述惯性传感器包括第二谐振元件对,所述第二谐振元件中每一者被布置在所述机械台的对侧。

20. 根据权利要求 18 或 19 所述的惯性传感器,其中共模输出和差模输出均从所述第一谐振元件对或从所述第二谐振元件对中读取,所述共模输出提供温度的测量并且所述差模输出提供加速度的测量。

21. 根据权利要求 16 至 20 中任意一项权利要求所述的惯性传感器,所述惯性传感器还包括至少一个第三谐振元件,该至少一个第三谐振元件被静电耦合至所述检验质量块或机械台,其中所述检验质量块在与所述第一轴和第二轴正交的方向上的加速度改变所述第三谐振元件和所述检验质量块或机械台之间的静电耦合。

22. 一种惯性传感器,该惯性传感器包括:

框架;

检验质量块,该检验质量块悬挂于所述框架;

第一谐振元件对,该第一谐振元件对耦合至所述检验质量块或耦合至中间组件,该中间组件耦合至所述检验质量块,每个第一谐振元件相对于另一个第一谐振元件耦合在所述检验质量块的对侧,所述第一谐振元件实质上彼此相同并且当所述传感器不加速时,具有与所述检验质量块实质上相同的耦合;

其中,所述检验质量块朝向或远离所述第一谐振元件的移动改变所述第一谐振元件的有效刚度;

驱动装置,该驱动装置耦合至所述第一谐振元件以使所述第一谐振元件中的每一者振动;

传感器组件,用于检测所述第一谐振元件中每一者的谐振频率的偏移;以及

处理装置,该处理装置用于对所述第一谐振元件中每一者的偏移求和以提供温度的测量。

23. 根据权利要求 22 所述的惯性传感器,其中所述处理装置被配置以提供所述第一谐振元件中每一者的偏移之间的差异,以在一个方向提供加速度的测量。

24. 根据权利要求 23 所述的惯性传感器,其中所述处理装置包括混合器,该混合器具有连接至所述传感器组件的输入和连接至第一滤波器和第二滤波器的输出,所述第一滤波器被配置以提供所述第一谐振元件中每一者的偏移的总和以提供温度的测量,所述第二滤波器被配置以提供所述第一谐振元件中每一者的偏移之间的差异以在一个方向提供加速度的测量。

25. 一种使用单个惯性传感器测量加速度和温度的方法,所述惯性传感器包括:框架;检验质量块,该检验质量块悬挂于所述框架;第一谐振元件对,该第一谐振元件对耦合至所

述检验质量块或耦合至中间组件,该中间组件耦合至所述检验质量块,每个第一谐振元件相对于另一个第一谐振元件耦合在所述检验质量块的对侧,所述第一谐振元件实质上彼此相同并且当所述传感器不加速时,具有与所述检验质量块实质上相同的耦合;其中,所述检验质量块朝向或远离所述第一谐振元件的移动改变所述第一谐振元件的有效刚度;驱动装置,该驱动装置耦合至所述第一谐振元件以使所述第一谐振元件中的每一者振动;以及传感器组件,用于检测所述第一谐振元件中每一者的谐振频率的偏移,所述方法包括以下步骤:

对所述第一谐振元件的谐振频率偏移求和以提供温度的测量;以及
计算所述第一谐振元件的谐振频率偏移的差异以提供加速度的测量。

26. 一种惯性传感器,该惯性传感器实质上如同于此参考附图所描述的惯性传感器。

27. 一种检验质量块的加速度测量方法,该方法实质上如同于此参考附图所描述的方法。

双轴和三轴惯性传感器及惯性感测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及惯性传感器及使用微机械惯性传感器进行惯性传感方法。具体地,本发明涉及可以很容易制造的并且仅使用单个悬挂的检验质量块 (proof mass) 能够在两个或三个正交方向进行传感的惯性传感器。

背景技术

[0002] 基于轻阻尼微机械谐振器的振荡器以其生产稳定、低噪音频率输出的性能而闻名。而这些特征使得它们在通信系统中作为稳定的定时 / 频率参考有价值,这些特征也使得它们在用作传感器方面具有吸引力。通过定义,谐振传感器是输出频率是测量的输入的函数的振荡器。换句话说,谐振传感器的输出对应于机械微观结构的谐振频率的偏移,机械微观结构的谐振频率的变化是根据待测物理 / 化学量的变化获得调整。伴随着经频移的输出信号的高灵敏度和稳定性,这种传感器中的输出信号的准数字 (quasi-digital) 性质已经引起这种微机械谐振传感器从生物分子和化学诊断到高精度力、质量、张力 (strain) 并且甚至电荷感测范围的多种应用中的广泛使用。

[0003] 对于谐振传感器的特殊情况,在过去的几年高精度微机械“全硅”谐振微加速计的发展中具有增加的兴趣。参见例子:US5969249;US4851080;US2011/0056294;CN101303365。这种兴趣被触发,是由于最近在航空航天、汽车行业及家用电子市场中对于微型高精度运动传感器的需求的增长。使用硅微机械技术制造的谐振微加速计呈现出许多显著优点,最大的优点是经济性。相对于它们更传统的基于具有类似装置封装对物的电容式检测,这些硅谐振微加速计不仅具有更高的灵敏度和分辨率,而且还示出提供增强的动态范围,这使得它们在识别市场 (identified market) 内的许多运动感测应用中的潜在应用中成为理想的候选者。

[0004] 但是,这些传感器的大部分仍然保持单轴或双轴的,因此对于那些不需要复杂的三维 (3D) 运动控制的应用限制了它们的功能和实用性。同时,三个单轴的、正交定向的谐振微加速计可以潜在的被应用于精确的三维频率偏移加速度 / 运动读出,这种实施相应地增加了设备的成本、尺寸和功率需求。

[0005] 本发明的目的是提供一种微机械硅谐振加速计,其允许仅使用单个悬挂的检验质量块进行二维和三维加速度读出。

发明内容

[0006] 本发明在随附独立权利要求中限定,应该参考独立权利要求。优选的特征在从属权利要求中陈述。

[0007] 在本发明的第一方面中,提供一种惯性传感器,该惯性传感器包括:

[0008] 框架;

[0009] 检验质量块,该质量块悬挂于所述框架;

[0010] 第一谐振元件对,该第一谐振元件对电耦合至所述检验质量块或电耦合至中间组

件,该中间组件机械耦合至所述质量块的,每个第一谐振元件相对于另一个第一谐振元件耦合至所述质量块的对侧,所述第一谐振元件实质上是彼此相同的并且当所述传感器不加速时,具有实质上相同的与所述检验质量块的静电耦合;

[0011] 其中,所述第一谐振元件和检验质量块实质上位于一个平面内,并且其中所述检验质量块正交于所述平面的相对于所述第一谐振元件的运动改变所述检验质量块和所述第一谐振元件之间的静电耦合;

[0012] 驱动装置,该驱动装置耦合至所述第一谐振元件,用于使所述第一谐振元件中的每一者振动;以及

[0013] 传感器组件,用于检测所述第一谐振元件中的每一者的谐振频率的偏移;以及

[0014] 处理装置,用于对所述第一谐振元件中的每一者的偏移的求和以提供与第一轴平行的所述检验质量块的加速度的测量,所述第一轴与所述平面正交。

[0015] 在所述检验质量块和谐振元件之间的静电耦合的任何改变导致该谐振元件的有效刚度的改变,其改变了所述谐振元件的谐振频率。在本文中,“检测所述谐振频率的偏移”应当被理解为包括直接检测谐振频率的偏移和通过检测谐振元件的谐振频率的在另一方面的改变来间接检测谐振频率的偏移。

[0016] 对谐振频率偏移求和消除了来自朝向或远离所述谐振元件的所述检验质量块的平面移动的贡献,使得平面外加速度可以被解耦和确定。由于所述第一谐振元件的每一者被安装在所述检验质量块的对侧,任何平面移动将导致在每个谐振元件上相同幅度但是相反方向的偏移。优选地,所述检验质量块和谐振元件被配置以使与所述第一谐振元件相切的所述检验质量块的移动不改变所述静电耦合。例如,所述第一谐振元件所耦合的所述检验质量块的侧面可以具有均匀厚度并且平行于切线方向延伸,并在所述切线方向超出所述第一谐振元件。

[0017] 任何合适的谐振元件可以被使用,例如双端音叉谐振器。

[0018] 所述传感器还可以包括耦合至所述检验质量块的第二谐振元件,所述第二谐振元件被配置以允许与第二轴平行、与所述第一轴正交的加速度的检测;其中,所述驱动装置被耦合至所述第二谐振元件以使所述第二谐振元件振动,并且传感器组件检测所述第二谐振元件的谐振频率的偏移。优选地所述第二谐振元件被机械耦合至所述检验质量块。

[0019] 所述惯性传感器还可以包括耦合至所述检验质量块的第三谐振元件,所述第三谐振元件被配置以允许与第三轴平行的加速度的检测,其中所述第三轴与所述第一轴和所述第二轴正交;

[0020] 其中所述驱动装置被耦合至所述第三谐振元件以使所述第三谐振元件振动,并且传感器组件检测所述第三谐振元件的谐振频率的偏移。优选地所述第三谐振元件被机械耦合至所述检验质量块。

[0021] 所述第二和第三谐振元件允许所述检验质量块的平面内的加速度被测量。所述第二谐振元件和第三谐振元件的结合仅使用单个悬挂的检验质量块提供三轴加速计。

[0022] 所述传感器可以包括第三谐振元件对,每个第三谐振元件相对于其它第三谐振元件被设置在所述检验质量块的对侧,所述第三谐振元件彼此相同,以及第二谐振元件对,每个第二谐振元件相对于其它第二谐振元件被设置在所述检验质量块的对侧,所述第二谐振元件彼此相同。通过提供相同的谐振元件对,差分读出(differential read out)可以被

使用以使得由诸如温度和压力变化的环境因素引起的频率波动可以被从平面内加速度测量中消除。

[0023] 此外,来自第二谐振元件对和第三谐振元件对的一者或两者的共模读出(common mode read out)可以提供输出,该输出是具有抑制由加速度引起的频率的一阶变化的温度指示。通过获取总和(共模)读出和差异(差分),读出,提供多参数传感器。确定温度或温度变化的能力是许多使用加速计的应用中所感兴趣的。温度测量也可以与加速度读出结合使用以提供更加精确的加速度的确定。谐振频率和温度之间的关系可以具有二阶或更高阶项并且温度测量可以被用于计算任何二阶或更高阶项,然后当根据所检测的谐振频率偏移计算加速度时,其被考虑在内。

[0024] 所述惯性传感器还可以包括在所述检验质量块和所述框架之间的机械台,所述机械台被配置以解耦合所述检验质量块在平面内两个正交方向的移动,其中所述第二或第三谐振元件,或所述第二和第三谐振元件二者,被机械耦合至所述机械台。这允许交叉轴(cross-axis)灵敏度减少并且因此,允许对来自传感器的输出的更简单的处理。

[0025] 所述惯性传感器还可以包括第四谐振元件,其中所述第四谐振元件实质上与所述第一谐振元件相同并且未被电耦合至所述检验质量块。所述第四谐振元件或者第四谐振元件对,可以被用于提供与所述第一谐振元件对的差分读出,以从平面外加速度的测量中消除诸如温度或压力的环境因素。

[0026] 所述惯性传感器还可以包括至少一个增强杆(amplifying lever),其耦合在所述检验质量块或机械台和所述第一、第二和第三谐振元件中的一个谐振元件之间。当耦合至所述第二和第三谐振元件时,所述增强杠杆被设计为力放大器,以针对给定的感应加速度放大传达至谐振元件通信的惯性力,并且因此增加设备的比例因子。所述框架、检验质量块和和谐振元件均可以由经加工的硅形成。

[0027] 本发明提供一种微机械硅谐振加速计,在目前报道的多数谐振元件的情况下,其具有改善的灵敏度和动态范围的主要优点,而且仅使用单个悬挂的检验质量块,还允许三维频移加速度读出,具有增强的交叉轴抑制。这种实施方式允许这种传感器的制造成本的减少,并且还允许尺寸的减小和因此允许设备的封装(footprint)的减小——多个应用中部署成本的另一个关键决定因素,尤其是在家用电子产品中。

[0028] 在另一方面,本发明提供一种使用微机械平面惯性传感器的平面外加速度测量方法,所述惯性传感器包括:框架;检验质量块,该检验质量块悬挂于所述框架;第一谐振元件对,该第一谐振元件对电耦合至所述检验质量块,每一个第一谐振元件相对于另一个耦合至所述检验质量块的对侧,所述第一谐振元件实质上彼此相同并且当所述传感器不加速时,具有实质上与所述检验质量块相同的静电耦合;其中,所述第一谐振元件和检验质量块实质上位于一个平面内,并且其中所述检验质量块正交于所述平面的相对于所述第一谐振元件的运动改变所述检验质量块和所述第一谐振元件之间的静电耦合;以及驱动装置,该驱动装置耦合至所述第一谐振元件,用于使所述第一谐振元件中的每一者振动;所述方法包括:

[0029] 检测每个所述第一谐振元件的谐振频率的偏移;以及

[0030] 对每个所述第一谐振元件的偏移求和以提供与第一轴平行的检验质量块加速度的测量,所述第一轴与所述平面正交。

- [0031] 在另一方面,本发明提供一种惯性传感器,该惯性传感器包括:
- [0032] 框架;
- [0033] 机械台,该机械台悬挂于所述框架;
- [0034] 检验质量块,该检验质量块悬挂于所述机械台,所述机械台在两个正交方向上操作地解耦合所述检验质量块的移动;
- [0035] 第一谐振元件,该第一谐振元件耦合至所述机械台的第一部分,所述机械台的第一部分平行于第一轴自由运动;
- [0036] 第二谐振元件,该第二谐振元件耦合至所述机械台的第二部分,所述机械台的第二部分平行于第二轴自由运动,所述第二轴与所述第一轴正交;
- [0037] 驱动装置,该驱动装置耦合至所述谐振元件以使谐振元件中每一者振动;以及
- [0038] 传感器组件,用于检测所述第一和第二谐振元件中每一者的谐振频率的偏移。
- [0039] 利用加速度谐振感测解耦合所述检验质量块的 X 和 Y 轴运动的台的组合仅使用单个悬挂检验质量块来提供廉价的、有效的和精确的双轴加速计。
- [0040] 所述惯性传感器还可以包括至少一个增强杆,例如机械力增强杆,所述至少一个增强杆耦合在所述机械台与所述第一和第二谐振元件的一个谐振元件之间。
- [0041] 所述惯性传感器可以包括第一谐振元件对,所述第一谐振元件的每一者布置在所述机械台的对侧并且实质上彼此相同。所述惯性传感器可以包括第二谐振元件对,所述第二谐振元件的每一者布置在所述机械台的对侧并且实质上彼此相同。通过提供相同的谐振元件对,差分读出可以被使用以使得由诸如温度和压力变化的环境因素引起的频率变动可以从平面内加速度测量中消除。此外,来自第二和第三谐振元件对中的一者或二者的共模读出可以提供为温度指示的输出,具有对由于加速度而引起的频率的一阶变量的抑制。通过获取总和(共模)读出和差异(差分)读出,多参数传感器被提供。
- [0042] 所述惯性传感器还可以包括至少一个第三谐振元件,该至少一个第三谐振元件静电耦合至所述检验质量块或机械台,其中在与所述第一和第二轴正交方向的检验质量块的加速度改变所述第三谐振元件和所述检验质量块或机械台之间的静电耦合。由沿着所述第一和第二轴的加速度引起的静电耦合的任何改变可以从由所述第一和第二谐振元件中引起的信号来计算,或者根据本发明的第一方面,可以使用相对安装的第三谐振元件来消除。
- [0043] 所述框架、检验质量块和谐振元件均可以由经加工的硅形成。
- [0044] 在本发明的另一方面,提供一种惯性传感器,该惯性传感器包括:
- [0045] 框架;
- [0046] 检验质量块,该检验质量块悬挂于所述框架;
- [0047] 第一谐振元件对,该第一谐振元件对耦合至所述检验质量块或耦合至中间组件,该中间组件耦合至所述检验质量块,每个第一谐振元件相对于另一个耦合在所述检验质量块的对侧,所述第一谐振元件实质上彼此相同并且当所述传感器不加速时,具有与所述检验质量块的实质上相同的耦合;
- [0048] 其中,所述检验质量块朝向或远离所述第一谐振元件的移动改变所述第一谐振元件的有效刚度;
- [0049] 驱动装置,该驱动装置耦合至所述第一谐振元件以使得所述第一谐振元件中每一者振动;

[0050] 传感器组件,用于检测所述第一谐振元件中每一者的谐振频率或有效刚度的偏移;以及

[0051] 处理装置,该处理装置用于对所述第一谐振元件中每一者的偏移求和以提供温度测量。

[0052] 所述处理装置可以被配置以提供所述第一谐振元件中每一者的偏移之间的差异以提供在一个方向的加速度的测量。优选地,所述检验质量块和共振元件被配置以使得与所述第一谐振元件正切的所述检验质量块的移动不改变所述静电耦合。

[0053] 所述处理装置可以包括混合器,该混合器具有连接至所述传感器组件的输入和良知第一滤波器和第二滤波器的输出,所述第一滤波器被配置以提供为所述第一谐振元件中每一者的偏移之和的输出以用于提供温度的测量,所述第二滤波器被配置以提供为所述第一谐振元件中每一者的偏移之间的差异的输出以用于提供在一个方向的加速度的测量。

[0054] 在本发明的另一方面,提供一种使用单个惯性传感器测量加速度和温度的方法,所述惯性传感器包括:框架;检验质量块,该检验质量块悬挂于所述框架;第一谐振元件对,该第一谐振元件对耦合至所述检验质量块或耦合至中间组件,该中间组件耦合至所述检验质量块,每个第一谐振元件相对于另一个耦合在所述检验质量块的对侧,所述第一谐振元件实质上彼此相同并且当所述传感器不加速时,具有与所述检验质量块实质上相同的耦合;其中,所述检验质量块朝向或远离所述第一谐振元件的移动改变所述第一谐振元件的有效刚度;驱动装置,该驱动装置耦合至所述第一谐振元件以使所述第一谐振元件中每一者振动;以及传感器组件,用于检测所述第一谐振元件中每一者的谐振频率的偏移,所述方法包括以下步骤:

[0055] 对所述第一谐振元件的谐振频率的偏移求和以提供温度的测量;以及

[0056] 计算所述第一谐振元件的谐振频率偏移的差异以提供加速度的测量。

[0057] 应当清楚,关于本发明一个方面描述的特征可同样被用于本发明的其它方面。

附图说明

[0058] 现在将参考所附图示,仅通过示例来描述本发明的实施方式,其中:

[0059] 图 1 是根据本发明的双轴加速计的示意透视图;

[0060] 图 2 是图 1 所示类型的双轴加速计平面示意图,此外结合力放大微杆(microlever)并阐释了驱动电极和传感器电极;

[0061] 图 3 是根据本发明的三轴加速计的平面示意图;

[0062] 图 4 是与图 3 示出的三轴加速传感器一起使用的驱动电子设备和感测电子设备的示意图;

[0063] 图 5 阐释了使用图 3 所示加速计用于导出 Z 轴加速度的处理电子设备;以及

[0064] 图 6 示出根据本发明的提供单轴加速度测量和温度测量的传感器的示意图。

具体实施方式

[0065] 图 1 是根据本发明的双轴惯性传感器的示意图。该传感器包括保持在双轴台内的单个悬挂的检验质量块。双轴台包括四个平台 14,其通过弯曲(flexure)12 在每个检验质量块的拐角处耦合至检验质量块 10。平台 14 通过弯曲 16 耦合至周围框架 20。所述台被

设计成,允许利用两轴之间减小的机械串流 (cross-talk) 解耦,除了悬挂的检验质量块在 X 和 Y 轴的对称移动。所述台被设计以将平台 14 的移动约束为一个自由度,即,如图所示沿着 X 或 Y 轴,同时使得悬挂在所述台内的检验质量块转换为具有两个自由度,即,沿着 X 和 Y 轴。这使得解耦合的输出被连接至平台 14 以转换在两个正交轴中每一者的检验质量块的加速度。悬挂弯曲 12、16 被设计为沿着 X 和 Y 轴的结构地相同的以使得沿着两轴的渲染 (render) 相等的有效刚度。这种对称性减小了 X 和 Y 轴之间的机械串流,并且还允许相同的双轴灵敏度。图 1 的传感器完全方便的由诸如绝缘体上硅 (SOI) 晶片的单个半导体晶片完整地制造,并且可以使用诸如表面微机械和刻蚀的传统的 MEMS 制造技术制造。

[0066] 平台 14 各自机械耦合至振动性双端音叉谐振器 22。每个谐振器 22 被导向为与其连接的平面 14 垂直。检验质量块的加速度导致谐振器上的张力,改变了它们的谐振频率。X 和 Y 加速度由所述台解耦合以提供分开的 X 和 Y 输出。

[0067] 在图 1 示出的实施方式中,相同的谐振器 22 沿着灵敏度的两个平面内轴 (图 1 中示出的点线) 被附着在检验质量块 10 的径向对侧 (diametrically opposite sides)。因此,检验质量块的任何移动被转化为面对面设置的谐振器中每一者上的相同幅度的张力,但是极性相反。换句话说,一个谐振器经受轴向拉伸应力而另一个经受轴向压缩应力。因此,在音叉谐振器中每一者上相同幅度但是相反方向的感应张力导致它们谐振频率的偏移。然后,来自两个径向相对的谐振器的差分测量可以被用于提供由诸如温度和压力波动的环境因素产生的任意频率波动的一阶共模消除。参考图 4,提供来自谐振器的输出的电处理的更详细描述。

[0068] 图 1 只是可以结合根据本发明的谐振器来使用的机械台设计的一个示例。任何基于合适弯曲的机械台如果沿着两个正交轴有效地解耦合检验质量块的移动,则其可以根据本发明而被使用。

[0069] 不同的谐振器拓扑可以被用于代替图 1 中示出的双端音叉谐振器。任何基于谐振元件的谐振行为的变化提供提供检验质量块的加速度输出指示的合适的谐振元件可以被使用。

[0070] 此外,力放大杆可以耦合在所述台和谐振器之间以放大谐振器上的所加载的张力。图 2 是图 1 所示类型的双轴传感器的示意性平面图,其具有设置于平台 14 和谐振器 22 之间的力放大杆。图 2 还示出用于驱动谐振器和传感输出的驱动电极和传感电极。

[0071] 微杆 24 设置在平台 14 和谐振元件 22 之间并且围绕支点 26 转动。每个支点 26 被设置以放大谐振元件 22 上的张力。这种类型的杆在 US5969249 中被更详细的描述,其内容通过引用结合于此。

[0072] 图 2 还示出谐振元件中的每一者包括一对耦合电极 28。驱动电极 30 和感测电极 32 邻近耦合电极 28 设置。驱动信号可以通过驱动电极 30 和由感测电极 32 所感测的输出信号被施加至每个谐振元件。这种布置在图 4 中被更详细示出。可替代地,附加的转导电极 (transduction electrode) 可以被设置以允许改善的谐振元件的转导。

[0073] 图 1 和 2 中示出的双轴加速计可以被用作图 3 所示的三轴加速计设计的部分。在图 3 中,相同的附图标记被用于指示与图 2 中示出的相同元件。图 3 示出的实施方式合并了两对额外的机械上相同的音叉谐振器 40 和 42 与 50 和 52。第一谐振器 40、42 中每一者以径向相对的位置被静电耦合至平台 14。第一谐振器包括电容式耦合板 44 以电容耦合至

平台 14(以虚线箭头示出)和驱动电极 46。作为图 3 示出的可替代配置,谐振器 40、42 可以被静电耦合至检验质量块而不是平台 14。因为相同的 DC 电压被施加至谐振器 50、52 并施加至检验质量块和平台,另一对谐振器 50、52 未被电耦合至检验质量块或者平台 14。谐振元件 50、52 具有与第一对谐振元件 40、42 相同的结构,包括电容式耦合板,并且靠近第一对谐振元件 40、42 设置以使它们经受大体上相同的环境条件。在图 3 中示出的示例中,谐振元件 50、52 以与第一对谐振元件 40、42 相似的方式被设置在平台 14 和检验质量块 10 之间。

[0074] 检验质量块沿着 Z 轴的任何感应加速度将使得检验质量块和相应地平台 14 转移一距离,该距离的幅度取决于所述台沿 Z 轴提供的刚度。检验质量块或平台 14 的任何 Z 轴位移改变第一对谐振元件 40、42 和平台 14 之间的电容性区域,导致它们工作的谐振频率变化。谐振频率的变化幅度取决于电容性耦合区域的变化。由于检验质量块沿着 Z 轴的位移,电耦合的谐振元件 50、52 对不经历频率变量。电耦合的谐振元件 50、52 对可以被用于取消由诸如温度和压力的变化的环境因素引起的谐振频率的任何变化。

[0075] 通过测量耦合的谐振器 40 和 42 经历的频率变化的总和,并且然后使用谐振器 50 和 52 的总和输出执行差分计算,沿着 Z 轴的平台位移的直接测量可以被获得,这可以被用于确定沿着 Z 轴的加速度。在检验质量块和衬底硅层之间形成的平行板电容器 (parallel plate capacitor) 的变化的同步测量值可以被用于提供加速度极性。可替代的机械布置,如基于梳齿驱动 (comb drive) 的电容式 Z 轴加速度检测,在下面的衬底被刻蚀的特殊制造工艺的情况下,可以与谐振读出机制结合使用以提供极性信息。

[0076] 当然,沿着 X 轴的任意位移也导致耦合的谐振元件 40、42 和平台 14 之间的电容间隙调制 (capacitive gap modulation)。但是,只要电容式耦合间隙被设计为相同的,则由所述台沿着 X 轴移动引起的任何频率波动对于谐振元件 40 和 42 将会有相同的幅度但是相反的极性。因此,谐振元件 40 和 42 对的输出的求和导致由在 X 轴上的移动引起的任何变化的消除。因此,与用于监测沿着 X 和 Y 轴加速度的轴向耦合谐振器的谐振频率的直接差分测量不同,Z 轴测量通过监测电耦合的谐振器 40 和 42 的谐振频率偏移的总和输出来获得。然后从来自解耦合的谐振器 50 和 52 的信号总和减去获得的任何频率变化可以被用于针对任何不想要的环境因素进行更正。

[0077] 图 4 阐释可以与图 3 所示的三轴加速计结合使用的读出电子设备的一个实施方式。

[0078] X 轴和 Y 轴加速度所需的读出电子设备是相同的并且因此仅详细描述 X 轴读出。谐振元件 22 中每一者是由施加至电极 30 的交流电压驱动。谐振器 22 的振荡频率是从电极 32 中读出。使用具有自动增益控制的振荡器电路来保持持续的振荡,其反馈到驱动电极 30。振荡器电路包括跨阻放大器 33、带通滤波器 35 和比较器 37。

[0079] 混合器 55 被用于提供来自径向相对的谐振器 22 的输出的总和与差异。混合器 55 的输出通过低通滤波器 57 以提供差异信号,其是与 X 轴加速度成比例的输出。

[0080] 正如上文所述,相同的配置被用于提供 Y 轴输出,并且相同的附图标记已经被用于标记用于 Y 轴的电子组件。

[0081] 高通滤波器也可以在 X 轴和/或 Y 轴上被连接至混合器 55 以提供温度的测量。图 4 仅示出连接至 Y 轴输出的高通滤波器 59。高通滤波器 59 从混合器 55 的输出中移除差异

信号仅留下信号总和（也称为共模输出）。在共模输出中，由于加速度引起的频率偏移被抵消，留下对环境因素非常敏感的输出，环境因素中最显著的是温度。在这种方式中，单个经加工的硅传感器可以提供加速度和温度输出二者。由于加速度测量对于谐振频率和温度之间关系的任何二阶分量仍然是敏感的，来自高通滤波器 59 的温度测量也可以被用于改善来自低通滤波器 57 的加速度测量。

[0082] 对于 Z 轴谐振元件的驱动和感测布置与 X 和 Y 轴谐振元件类似。驱动信号被施加至驱动电极 46、60 和来自设置在谐振元件底部的传感电极 48、62 的输出读出。包括跨阻放大器、带通滤波器和比较器 / 自动增益控制元件的振荡电路被用于维持谐振元件 40、42 和 50、52 的振荡。

[0083] 图 5 更清晰的示出了用于 Z 轴加速度的信号处理。混合器 70 被用于提供电耦合的谐振器 40、42 输出的总和与差异。类似地来自解耦合的谐振器 50、52 的输出通过混合器 80 计算总和与差异并且通过滤波器 82 进行高通滤波。混合器 90 被用于提供来自滤波器 72 和滤波器 82 的输出信号的总和与差异。该输出由低通滤波器 92 滤波以提供与 Z 轴加速度成比例的频率输出。附加的感测电极也可以被合并以促进用于谐振器中每一者的更大的转导区域，因此减少动态阻抗 (motional resistance) 并且改善振荡器的电子噪音限制分辨率。

[0084] 图 3 和 4 的传感器对 Z 轴加速度的灵敏度取决于谐振元件和检验质量块弯曲的刚度。由于加速度 a_z 引起的检验质量块 / 双轴台的沿 Z 轴的进行距离 (Z) 的任何位移，导致电弹性 (electro-elastically) 耦合至检验质量块的谐振器中每一者的刚度的静电调制。这可以表达为：

$$[0085] \quad \left| \Delta k \right|_z = \frac{(\Delta V^2) \epsilon_0 (l(h-Z))}{(g)^3} = \frac{(\Delta V^2) \epsilon_0 l \left(h - \left(\frac{M_z a_z}{K_z} \right) \right)}{(g)^3}$$

[0086] 其中， ΔV 代表所述台和谐振器中每一者之间的电势差异； ϵ_0 表示空气介电常数； l ，谐振器和双轴台平台之间的电容耦合板的长度； h ，平台的厚度； M_z 和 K_z 代表沿着 Z 轴的检验质量块的有效质量和刚度，以及 g ，在检验质量块 / 双轴台的任何感应位移的电容耦合间隙。然后每个音叉谐振器的谐振频率的相对偏移通过以下被给出：

$$[0087] \quad \left[\frac{\Delta f}{f^0} \right]_z \cong \frac{\Delta k_z}{2k}$$

[0088] 其中， k 指代在工作模式中音叉的刚度。由于输出对应于由保持电耦合至检验质量块的运动的两个音叉产生的频率偏移的总和减去两个结构上相同的谐振器产生的频率偏移的总和分量，沿着 Z 轴的净灵敏度 (net sensitivity) 可以表达为：

$$[0089] \quad \left[\frac{\Delta f}{f^0} \right]_{\text{eff}_z} \cong \frac{\Delta k_z}{k}$$

[0090] 沿着 X 和 Y 轴的比例因数可以被写为设计用于沿着 X 和 Y 轴的加速度读出的两个谐振音叉力传感器之间的标称差分频率偏移的比率。这可以表达为：

$$[0091] \quad \left[\frac{\Delta f}{a_i} \right]_{i=X,Y} \cong \frac{A_i M S_i (f_0)_i}{4}$$

[0092] 其中, A_i 表示沿着两个正交轴的机械力杆的净放大因数; $S_i = 0.293(L_i^2)/Et_i w_i^3$; L_i , 沿着灵敏轴的音叉谐振器的长度; E , 杨氏模量, t_i , 音叉谐振器的厚度; w_i 音叉谐振器的宽度; M , 经受沿着 X 和 Y 轴加速度的检验质量块; a_i , 沿着第 i 轴的加速度输入。

[0093] 应当清楚的是, 图 4 所示的实施方式只是根据本发明的加速计的一个示例。除了其它之外, 可以使用对于每个谐振元件和不同的振荡器电路的不同位置的驱动电极和感测电极、不同形状的检验质量块、用于台桌的不同弯曲结构、不同位置的四个谐振元件、不同类型的谐振元件来提供以相同原理工作的加速计。

[0094] 还应当清楚的是, 根据耦合至单个检验质量块相对侧的谐振元件对的共模输出来提供温度测量的理念可以按照参考图 4 描述的相同的方式被应用至单轴或双轴加速计设计。

[0095] 图 6 是具有同步温度检测的单个轴加速计的原理示意图。硅检验质量块 110 通过弯曲 116 悬挂于框架。一对谐振元件 122 被安装在检验质量块的相对侧, 每一个通过力放大微杆 124 被机械地耦合至检验质量块。谐振元件 122 由施加至电极 130 的交流电压驱动。每个谐振器 122 的振荡频率从相应的电极 132 中读出。使用具有自动增益控制的振荡器电路保持连续振荡, 其反馈至驱动电极 130。振荡电路包括如图 4 所描述的跨阻放大器 133、带通滤波器 135 及比较器 137。

[0096] 混合器 155 被用于提供来自相对的谐振元件 122 的输出的总和与差异。来自混合器 155 的输出通过低通滤波器 157 以提供差分信号。针对每个谐振元件, 在灵敏度轴内的由于检验质量块 110 的移动引起的谐振频率的任何变化将相等, 但是具有相反的极性。针对两个谐振元件, 由于温度变化引起的谐振频率的变化将相等并且具有相同的极性。因此, 差分信号将提供与加速度成比例的输出。高通滤波器 159 也被连接至混合器。高通滤波器 159 从混合器 155 的输出中消除差异信号仅保留总和的输出。在总和的输出中, 由于加速度引起的频率偏移被消除, 留下对温度敏感的输出。

[0097] 以这种方式, 单个经加工的硅传感器可以提供加速度和温度输出。正如图 4 所描述的, 由于加速度测量对于谐振频率和温度之间关系的任何二阶分量仍然是敏感的, 来自高通滤波器 159 的温度测量也可以被用于改善来自低通滤波器 157 的加速度测量。

[0098] 在图 6 的实施方式中, 谐振元件 122 被安装在检验质量块的相对侧, 每个经由力放大微杆 124 被机械地耦合至检验质量块。但是, 应当清楚的是, 作为可替代的, 谐振元件可以被静电耦合至检验质量块。在静电耦合的情况下, 可以使用位移放大器来代替力放大微杆 124。

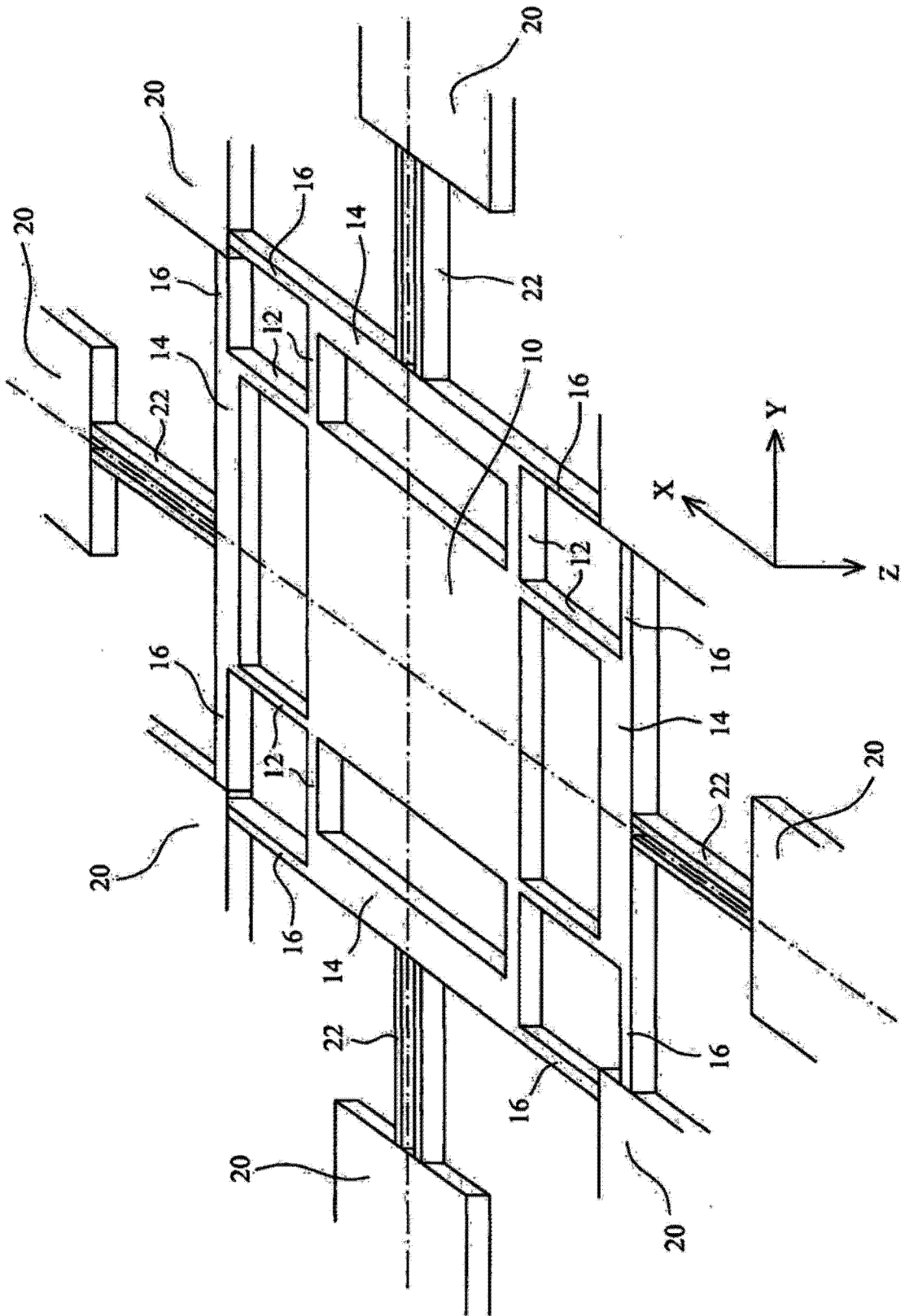


图 1

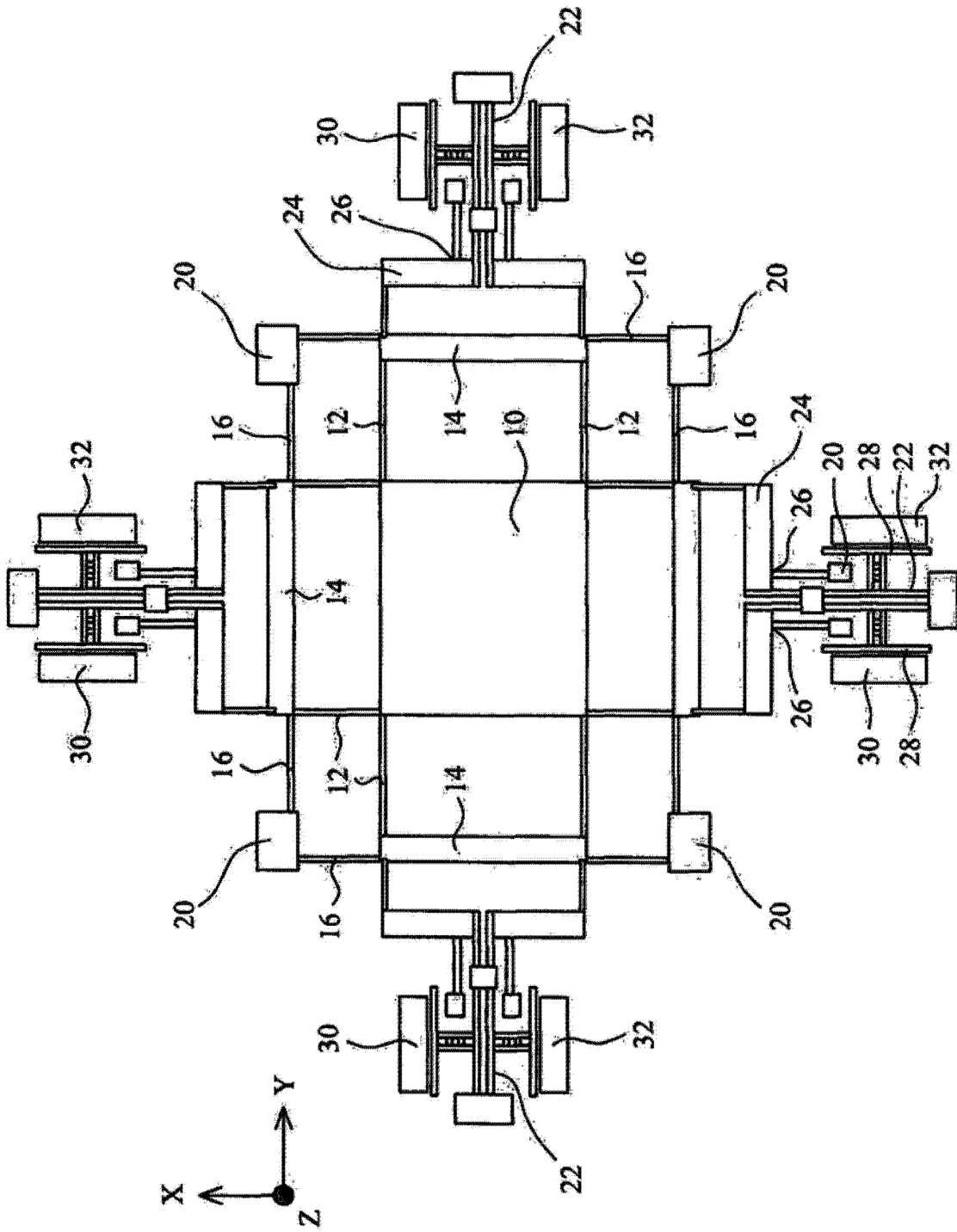


图 2

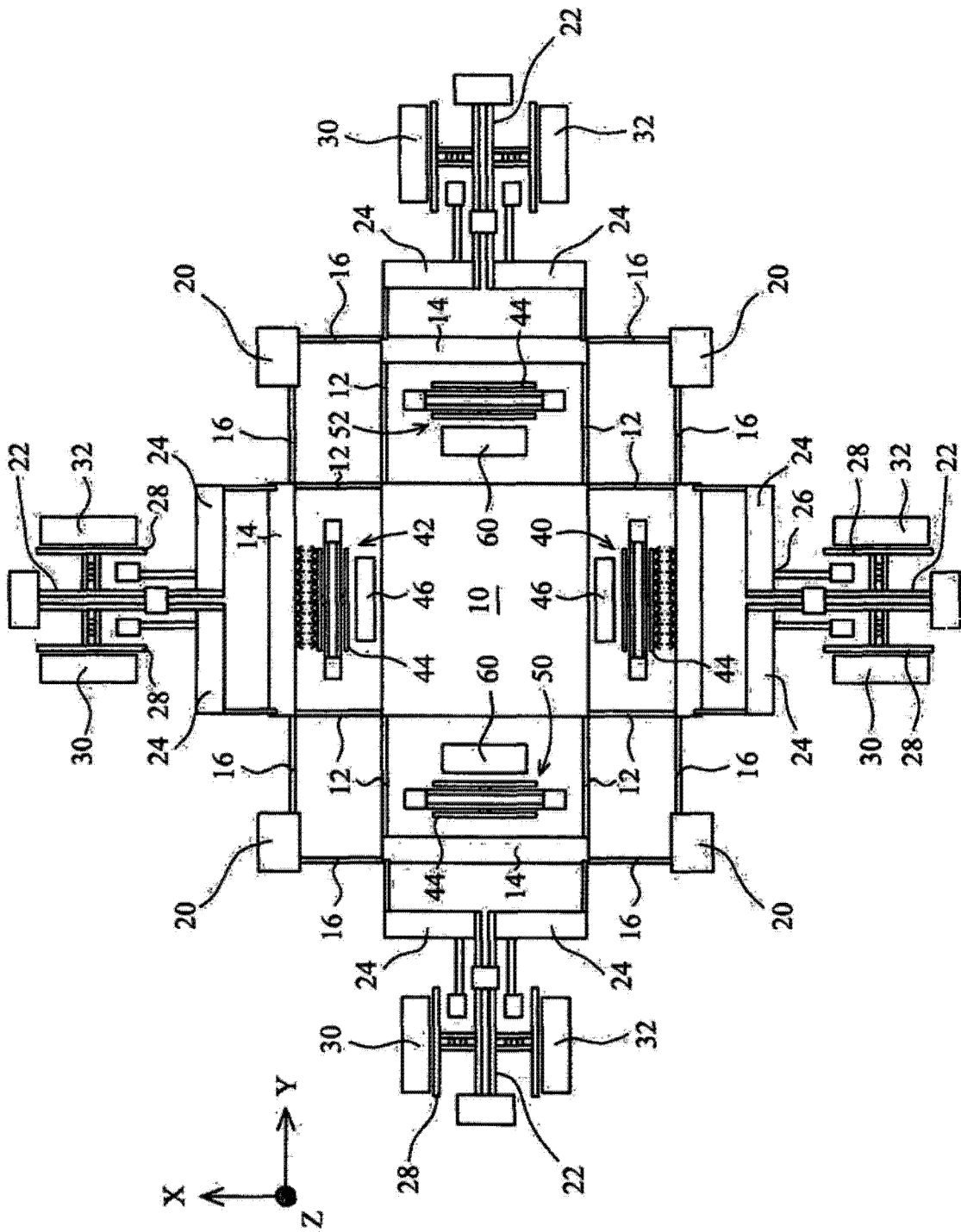


图 3

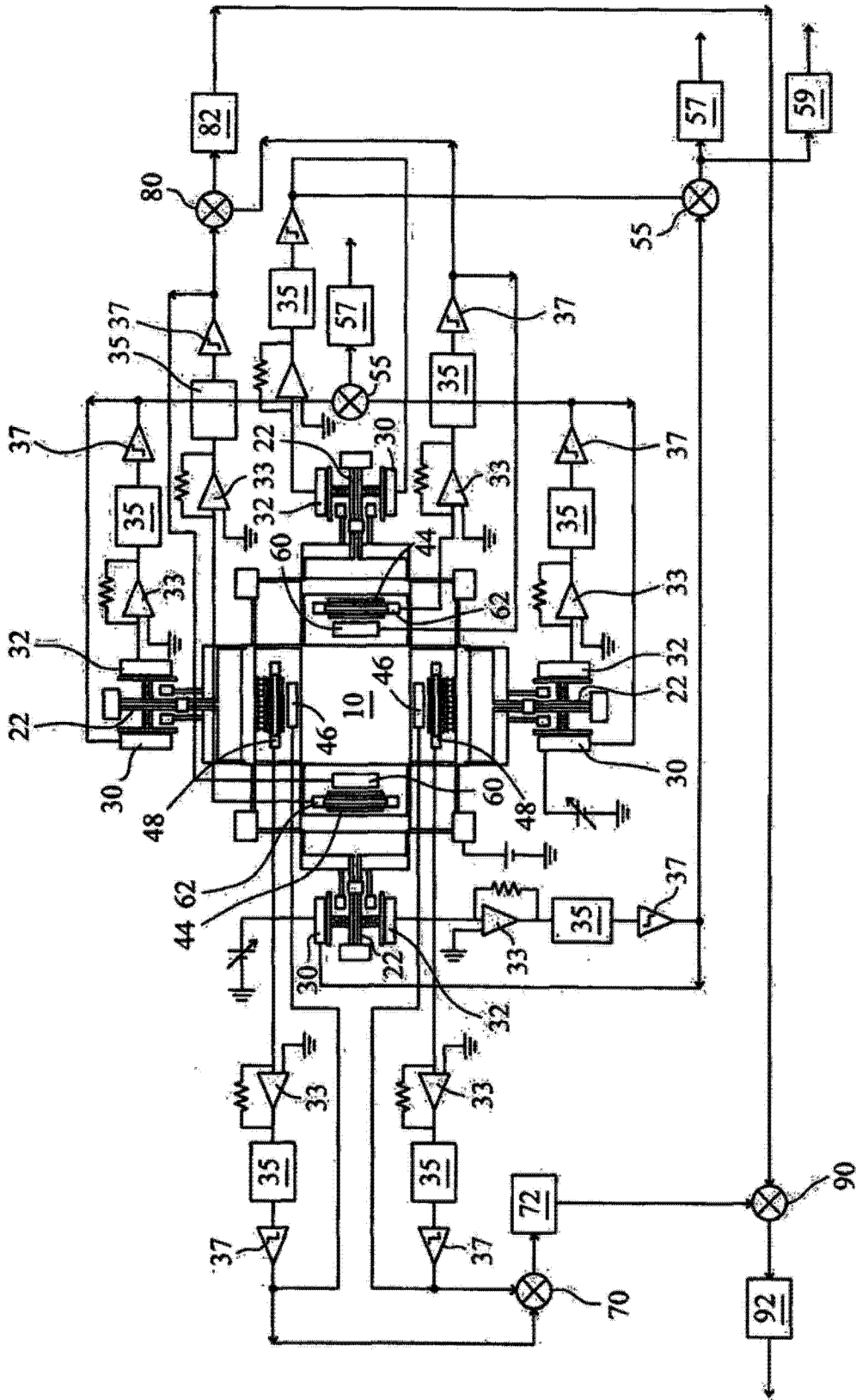


图 4

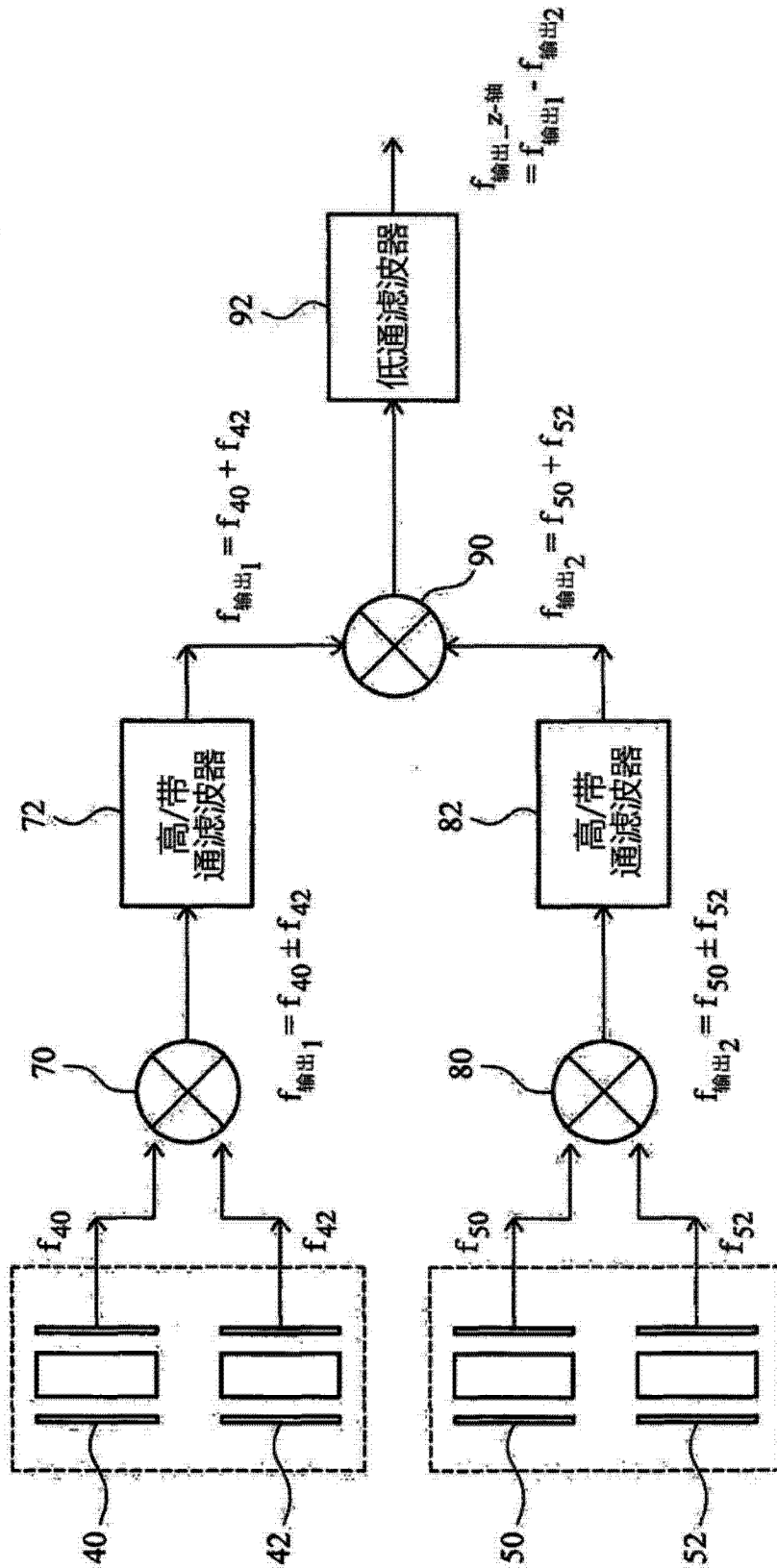


图 5

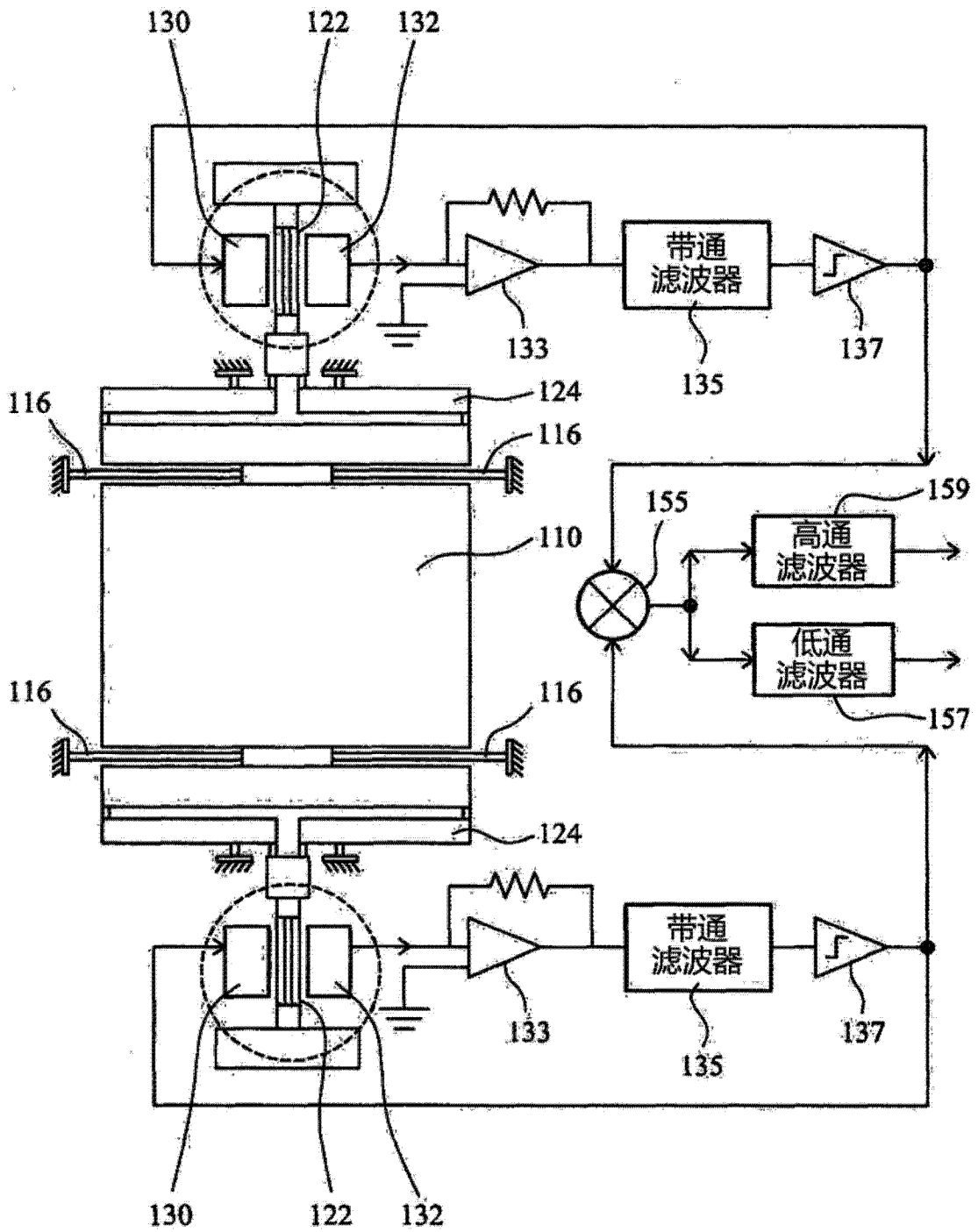


图 6