

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2017 年 2 月 16 日 (16.02.2017)



(10) 国际公布号
WO 2017/024904 A1

- (51) 国际专利分类号:
F16F 15/02 (2006.01) *G05D 19/02* (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2016/087427
- (22) 国际申请日: 2016 年 6 月 28 日 (28.06.2016)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201510482336.0 2015 年 8 月 7 日 (07.08.2015) CN
- (71) 申请人: 华中科技大学 (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。
- (72) 发明人: 陈学东 (CHEN, Xuedong); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 陶业英 (TAO, Yeying); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 李小清 (LI, Xiaoqing); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 王敏 (WANG, Min); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 明平光 (MING, Pingguang); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 李明 (LI, Ming); 中国

湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。

(74) 代理人: 华中科技大学专利中心 (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PATENT AGENCY CENTER); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号华中科技大学东一楼 340, Hubei 430074 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,

[见续页]

(54) Title: PIEZOELECTRIC ACTIVE VIBRATION ISOLATION MECHANISM AND METHOD OF REDUCING THE INHERENT FREQUENCY OF A VIBRATION SYSTEM THEREOF

(54) 发明名称: 一种压电主动隔振机构及其降低振动系统固有频率的方法

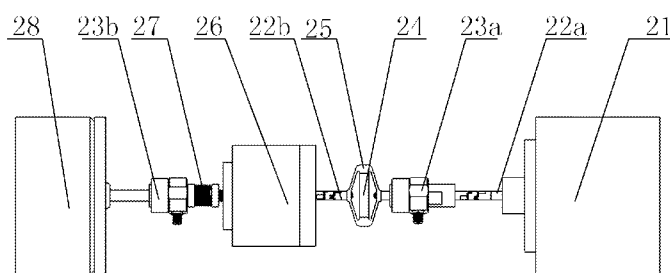


图 1 (b)

(57) Abstract: A piezoelectric active vibration isolation mechanism comprises a first force sensor (23b), a spring bellows (27), a middle mass block (26), a first flexible hinge (22b), a piezoelectric actuator, a second force sensor (23a), a second flexible hinge (22a) and a controller, one end of the first force sensor (23b) being used for connecting a base platform (28), and the other end thereof being connected sequentially to the spring bellows (27), the middle mass block (26), the first flexible hinge (22b), the piezoelectric actuator, the second force sensor (23a) and the second flexible hinge (22a). The first force sensor (23b) and the second force sensor (23a) are respectively used for detecting vibration signals of the base platform (28) and of a loading platform (21), and respectively transmitting the detected vibration signals to the controller so that the controller controls the piezoelectric actuator to apply a force onto the loading platform (21), thereby compensating the loading platform (21). The piezoelectric active vibration isolation mechanism utilizes a two-stage series-connected suspension structure, effectively reducing the inherent frequency of the structure and being able to effectively suppress low-frequency interference of the slight vibration in a precision device. A method of reducing the inherent frequency of a vibration system is further disclosed.

(57) 摘要:

[见续页]



WO 2017/024904 A1



IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, **本国际公布:**

RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD,
TG)。

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

一种压电主动隔振机构，包括第一力传感器（23b）、弹簧波纹管（27）、中间质量块（26）、第一柔性铰链（22b）、压电执行器、第二力传感器（23a）、第二柔性铰链（22a）和控制器，第一力传感器（23b）的一端用于连接基础平台（28），其另一端依次连接弹簧波纹管（27）、中间质量块（26）、第一柔性铰链（22b）、压电执行器、第二力传感器（23a）、第二柔性铰链（22a）。第一力传感器（23b）和第二力传感器（23a）分别用于检测基础平台（28）和负载平台（21）的振动信号，并分别将检测的振动信号传递给控制器，以使控制器控制压电执行器施加作用力在负载平台（21）上，从而对负载平台（21）进行补偿。该压电主动隔振机构采用双级串联式悬置结构，有效的降低了结构的固有频率，能够有效的抑制精密设备中的微振动低频干扰。还公开了一种降低振动系统固有频率的方法。

一种压电主动隔振机构及其降低振动系统固有频率的方法

[技术领域]

本发明属于微振动抑制领域，更具体地，涉及一种压电主动隔振机构及其降低振动系统固有频率的方法。

[背景技术]

传统的被动隔振器由质量-弹簧-阻尼元件构成，由于其在低频振动传递率与高频振动衰减率之间存在的固有矛盾，而无法满足精密微振动的隔振需求，因此迫切需要一些新技术、新方法来改善这一现状。如卫星在轨运行期间，由于搭载设备正常工作会造成卫星整体及局部幅度较小的往复运动，这些微振动是影响高精度遥感卫星指向精度和成像质量等关键性能的主要因素。

结构上，目前主流的微振动隔振器均采用被动隔振元件与主动执行器以一定连接方式组合而成。如空气弹簧与音圈电机的主被动混合并联使用、膜片弹簧与音圈电机的主被动混合串联使用等都手段都极大提高了这类精密减振器的低频减振与高频衰减能力。

空气弹簧与音圈电机的主被动并联结构使得隔振器具有工作行程大、负载高和固有频率低的特点，但其结构也较为复杂，空气弹簧需持续供气，音圈电机耗能大，且该机构为软式结构，且空间设备发射时需要额外的锁定装置，以上因素制约了其在太空环境中的应用。压电智能材料的应用为隔振器的设计开拓了新领域，其定位精度高且动态响应好，作动行程较小，可应用于微动定位及振动抑制平台。采用压电陶瓷为执行器的主动隔振机构多为硬式结构，空间设备发射时不需要锁定装置，大大扩大使用远景。但压电陶瓷刚度大，导致结构固有频率较高，难以有效的衰减低频干扰，因此提出一种双层串联式压电主动执行器结构，可以有效的衰减低频振动，

提高多频段振动主动控制能力。

[发明内容]

针对现有技术的以上缺陷或改进需求，本发明提供了一种压电主动隔振机构其降低振动系统固有频率的方法，该主动隔振机构结构紧凑、安装简便，具有较低的固有频率，能够有效的衰减微振动信号，是一种主、被动隔振元件混合使用的微振动隔振机构，其不仅对高频振动干扰具有良好的高衰减率隔振效果，还能有效的实现低频共振抑制，隔离低频振动，该主动隔振器可有效抑制卫星微振动，为遥感卫星高分辨率观测成像提供稳定的工作环境。

为实现上述目的，按照本发明，提供了一种压电主动隔振机构，其特征在于：包括第一柔性铰链、压电执行器、力传感器、第二柔性铰链和控制器，其特征在于：

所述第一柔性铰链的一端用于连接基础平台，其另一端依次连接所述压电执行器、力传感器和第二柔性铰链，所述第二柔性铰链的另一端用于连接负载平台；

所述压电执行器和力传感器均与所述控制器连接；

所述力传感器用于检测负载平台的振动信号，并将振动信号传递给控制器，控制器采用 PI 反馈控制方法控制压电执行器施加作用力在负载平台上，从而对负载平台进行补偿以减小负载平台的振动；

所述压电执行器包括压电单元及力放大机构，所述力放大机构用于放大压电单元的输出力以减小负载平台的振动。

优选地，所述控制器包括比例控制器和积分器，以保证控制器获得高增益，提高其控制效果。

按照本发明的另一个方面，还提供了一种压电主动隔振机构，其特征在于：包括第一力传感器、弹簧波纹管、中间质量块、第一柔性铰链、压电执行器、第二力传感器、第二柔性铰链和控制器，其中，

所述第一力传感器的一端用于连接基础平台，其另一端依次连接所述弹簧波纹管、中间质量块、第一柔性铰链、压电执行器、第二力传感器和第二柔性铰链，所述第二柔性铰链的另一端用于连接负载平台；

所述第一力传感器、压电执行器和第二力传感器均与所述控制器连接；

所述第一力传感器和第二压力传感器分别用于检测基础平台和负载平台的振动信号，并分别将检测的振动信号传递给控制器，以使控制器控制压电执行器施加作用力在负载平台上，从而对负载平台进行补偿以减小负载平台的振动。

优选地，所述控制器包括比例控制器和积分器，以保证控制器获得高增益。

按照本发明的另一个方面，还提供了一种降低振动系统固有频率的方法，其特征在于：所述振动系统包括基础平台、负载平台和隔振机构，其中，所述隔振机构的第一柔性铰链与基础平台连接，所述第二柔性铰链与负载平台连接；

获得所述振动系统的传递率 G_1 ：

$$G_1 = \frac{Cs + K}{(M + k_p)s^2 + (C + k_i s) + K}$$

其中， C 为系统阻尼， K 为系统刚度， M 为负载质量，即第二柔性铰链上所承载的物体的质量， k_p 为控制器比例系数， k_i 为系统积分系数， s 为拉普拉斯变换的变量；

然后通过传递率获取系统的固有频率，则调节上述 k_p 的值，能降低系统的固有频率。

按照本发明的另一个方面，还提供了一种降低振动系统固有频率的方法，其特征在于：所述振动系统包括基础平台、负载平台和隔振机构，其中，所述隔振机构的第一力传感器与基础平台连接，所述第二柔性铰链与负载平台连接；

获得所述振动系统的传递率 G_4 :

$$G_4 = \frac{C_0 C_1 s^2 + (K_1 C_0 + K_0 C_1) s + K_0 K_1}{(M_0 M_1 + M_0 k_p) s^4 + (M_0 C_1 + M_1 C_0 + M_1 C_1 + M_0 k_i + C_0 k_p) s^3 + (M_1 K_1 + M_0 K_1 + M_1 K_0 + C_0 C_1 + C_0 k_i + K_0 k_p) s^2 + (C_1 K_0 + C_0 K_1 + K_0 k_i) s + K_0 K_1}$$

其中, C_0 为靠近基础平台的第一级隔振单元的阻尼, K_0 为靠近基础平台的第一级隔振单元的刚度, C_1 为靠近负载平台的第二级隔振单元的阻尼, K_1 为靠近负载平台的第二级隔振单元的刚度, M_0 为中间质量块的质量, M_1 为负载质量, 即第二柔性铰链上所承载的物体的质量, k_p 为控制器比例系数, k_i 为系统积分系数, s 为拉普拉斯变换的变量;

然后通过传递率获取系统的固有频率, 则调节上述 k_p 的值, 能降低系统的固有频率。

总体而言, 通过本发明所构思的以上技术方案与现有技术相比, 能够取得下列有益效果:

(1) 本发明采用压电执行器, 压电执行器能够使主动隔振系统达到纳米级定位精度, 可有效应用于精密微振动抑制及隔离领域; 加之压电执行器耗能小且为硬式结构, 设备发射时不需要额外的锁定装置, 相比于音圈电机能够更为有效的在太空环境中使用, 扩大了使用场景。

(2) 本发明设置了由中间质量块及弹簧波纹管构成的悬置系统, 所组成的双层串联式悬置系统能够有效的降低结构的固有频率, 因此能有效的抑制精密设备中的微振动低频干扰。

(3) 本发明采用主被动隔振系统并联使用, 主被动隔振系统混合使用可有效抑制低频振动, 在保证低频振动传递率, 同时提供高频振动的高衰减性, 因此能有效的抑制精密设备中的振动干扰。

[附图说明]

图 1 (a) 和图 1 (b) 分别为本发明实施例 1 和实施例 2 的结构示意图;

图 2 为本发明实施例 1 与对比例 1、实施例 2 与对比例 2 的传递率曲线

对比图；

图 3 (a) 为本发明实施例 1 的原理简图；

图 3 (b) 为本发明实施例 2 的原理简图。

[具体实施方式]

为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。此外，下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

实施例 1

参照图 1 (a)、图 2 和图 3 (a)，一种压电主动隔振机构，包括第一柔性铰链 12b、压电执行器、力传感器 13a、第二柔性铰链 12a 和控制器，所述第一柔性铰链 12b 的一端用于连接基础平台 16，其另一端依次连接所述压电执行器、力传感器 13a 和第二柔性铰链 12a，所述第二柔性铰链 12a 的另一端用于连接负载平台 11；

所述压电执行器和力传感器 13a 均与所述控制器连接；

所述力传感器 13a 用于检测负载平台 11 的振动信号，并将振动信号传递给控制器，控制器采用 PI 反馈控制方法控制压电执行器施加作用力在负载平台 11 上，从而对负载平台 11 进行补偿以减小负载平台 11 的振动；

所述压电执行器包括压电单元 14 及力放大机构 15，所述力放大机构 15 用于放大压电单元 14 的输出力以减小负载平台 11 的振动。

优选地，所述控制器包括比例控制器和积分器，以保证控制器获得高增益，提高其控制效果。

将本隔振机构连接基础平台 16 和负载平台 11 后，就组成了振动系统，此振动系统为单层主动系统。

所述振动系统的传递率 G_1 :

$$G_1 = \frac{Cs + K}{(M + k_p)s^2 + (C + k_i s) + K}$$

其中, C 为系统阻尼, K 为系统刚度, M 为负载质量, 即第二柔性铰链 12a 上所承载的物体的质量, k_p 为控制器比例系数, k_i 为系统积分系数, s 为拉普拉斯变换的变量。

然后通过传递率获取系统的固有频率, 则调节上述 k_p 的值, 能降低系统的固有频率。

图 3(a)所示为单层压电主动隔振单元的原理简图。第一柔性铰链和第二柔性铰链可实现微小范围内的旋转, 消除了传动过程中的空程和机械摩擦, 提高了位移分辨率。力传感器 13a 布置在第二柔性铰链与压电执行器之间, 用于检测负载平台 11 上的微振动信号, 并将力信号传递给压电执行器做主动隔振单元输出力补偿。

其中压力执行器施加在卫星平台上的控制力 F_0 计算如下:

$$F_0 = (k_p + k_i / s) M x_1 s^2$$

其中 k_p 为 PI 主动控制中的比例系数, k_i 为积分系数, x_1 为负载平台的振动幅值, s 为拉普拉斯变换的变量。

对比例 1

对比例 1 产品的构造与实施例 1 相比, 形成的振动系统缺少力传感器 13a 和控制器; 此振动系统为单层被动系统。

其振动系统的传递率 G_0 为: $G_0 = \frac{Cs + K}{Ms^2 + Cs + K}$, 式中 M 为负载质量, 即第二柔性铰链 12a 上所承载的物体的质量, K 与 C 分别为负载与基础平 16 之间的弹性系数与阻尼系数, s 为拉普拉斯变换的变量。

如图 2 所示, 对比例 1 的传递率曲线从图中可以看出单层被动系统因为存在阻尼, 高频上会保持高衰减率, 但低频共振峰处具有较高的峰值, 且由于主动执行器中的压电单元刚度大, 导致隔振单元固有频率较高, 传

递率曲线不能得到很快的衰减。

从图 2 的实施例 1 的单层主动系统和对比例 1 的单层被动系统的传递率曲线可以看了，相对于单层被动系统，单层主动系统通过压电执行器出力补偿环节，可以衰减传递率曲线固有频率处峰值的大小，能够有效的抑制负载平台 11 上的微振动。

实施例 2

一种压电主动隔振机构，包括第一力传感器 23b、弹簧波纹管 27、中间质量块 26、第一柔性铰链 22b、压电执行器、第二力传感器 23a、第二柔性铰链 22a 和控制器，其中，

所述第一力传感器 23b 的一端用于连接基础平台 28，其另一端依次连接所述第二力传感器 23b、弹簧波纹管 27、中间质量块 26、第一柔性铰链 22b、压电执行器、第二力传感器 23a、第二柔性铰链 22a，所述第二柔性铰链 22a 的另一端用于连接负载平台 21；

所述第一力传感器 23b、压电执行器和第二力传感器 23a 均与所述控制器连接；

所述第一压力传感器 23b 和第二压力传感器 23a 分别用于检测基础平台 28 和负载平台 21 的振动信号，并分别将检测的振动信号传递给控制器，以使控制器控制压电执行器施加作用力在负载平台 21 上，从而对负载平台 21 进行补偿以减小负载平台 21 的振动；

所述弹簧波纹管 27 用于提供沿连接方向的刚度，中间质量块 26 为初级隔振单元的质量单元，两者共同形成隔振机构的第一级隔振单元。

优选地，所述控制器包括比例控制器和积分器，以保证控制器获得高增益，提高其控制效果。

将本隔振机构连接基础平台 28 和负载平台 21 后，就组成了振动系统，此振动系统为双层主动系统。

所述振动系统的传递率 G_4 :

$G_4 =$

$$\frac{C_0 C_1 s^2 + (K_1 C_0 + K_0 C_1) s + K_0 K_1}{(M_0 M_1 + M_0 k_p) s^4 + (M_0 C_1 + M_1 C_0 + M_1 C_1 + M_0 k_i + C_0 k_p) s^3 + (M_1 K_1 + M_0 K_1 + M_1 K_0 + C_0 C_1 + C_0 k_i + K_0 k_p) s^2 + (C_1 K_0 + C_0 K_1 + K_0 k_i) s + K_0 K_1}$$

其中, C_0 为靠近基础平台的第一级隔振单元的阻尼, K_0 为靠近基础平台的第一级隔振单元的刚度, C_1 为靠近负载平台的第二级隔振单元的阻尼, K_1 为靠近负载平台的第二级隔振单元的刚度, M_0 为中间质量块的质量, M_1 为负载质量, 即第二柔性铰链上所承载的物体的质量 k_p 为控制器比例系数, k_i 为系统积分系数, s 为拉普拉斯变换的变量;

然后根据传递率绘制传递率曲线并从传递率曲线上获得振动系统的固有频率, 则调节上述 k_p 的值, 能降低系统的固有频率。

在图 3(b) 中第一力传感器 23b 布置在弹簧波纹管 27 与基础平台 28 之间, 用来采集基础平台 28 激励信号。压电单元的力放大机构进行输出力补偿以抑制负载平台 21 上的微振动。图 3(b) 所示的双层压电主动隔振单元相比于图 3(a) 增加了弹性单元 (弹簧波纹管 27), 且中间质量块 26 为双层压电主动隔振装置上的中间质量, 中间质量块 26 与弹簧波纹管 27 等零件组成主动隔振器的第一级隔振单元, 然后经过如图 3(a) 中的压电主动隔振环节进行二级隔振。

从图 2 中可以看出, 实施例 2 通过在实施例 1 的单层隔振系统与基础平台 28 之间增加中间质量块 26 和较小刚度的弹性单元 (弹簧波纹管 27), 可以极大的减小隔振单元的固有频率, 使传递率曲线得到很快的衰减。通过压电执行器输出力补偿环节, 可以进一步衰减传递率曲线固有频率处峰值的大小, 能够有效的抑制负载平台 21 上的微振动。

其中压力执行器施加在卫星平台上的控制力 F_0 计算如下:

$$F_0 = (k_p + k_i / s) M x_1 s^2$$

其中 k_p 为 PI 主动控制中的比例系数, k_i 为积分系数, M 为负载质量,

即第二柔性铰链上所承载的物体的质量， x_1 为负载平台的振动幅值， s 为拉普拉斯变换的变量。

对比例 2

对比例 2 的产品与实施例 2 相比，形成的振动系统缺少了第一力传感器 23b、中间质量块 26 和弹簧波纹管 27；此振动系统为双层被动系统。

振动系统的传递率为：

$$G_3 = \frac{C_0 C_1 s^2 + (K_1 C_0 + K_0 C_1) s + K_0 K_1}{M_0 M_1 s^4 + (M_0 C_1 + M_1 C_0 + M_1 C_1) s^3 + (M_1 K_1 + M_0 K_1 + M_1 K_0 + C_0 C_1) s^2 + (C_1 K_0 + C_0 K_1) s + K_0 K_1}$$

其中， C_0 为靠近基础平台的第一级隔振单元的阻尼、 K_0 为靠近基础平台的第一级隔振单元的刚度、 C_1 为靠近负载平台的第二级隔振单元的阻尼、 K_1 为靠近负载平台的第二级隔振单元的刚度、 M_0 为中间质量块 26 的质量、 M_1 为负载质量， s 为拉普拉斯变换的变量。

参照图 3 (a)、图 3 (b)，本发明中，弹簧-阻尼构成被动隔振机构，压电执行器-传感器-控制器构成主动隔振机构。主动隔振机构中采用力传感器 23a 监测负载振动信号，将振动信号传递给控制器进行控制算法计算，完成后输出给压力执行器对负载平台 21 进行力补偿。通过对比图 2 中各振动系统的传递率曲线，可得使用了主动隔振机构的振动系统的固有频率峰值得到了明显的衰减。

本领域的技术人员容易理解，以上所述仅为本发明的较佳实施例而已，并不用以限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

权 利 要 求

1、一种压电主动隔振机构，其特征在于：包括第一柔性铰链、压电执行器、力传感器、第二柔性铰链和控制器，其特征在于：

所述第一柔性铰链的一端用于连接基础平台，其另一端依次连接所述压电执行器、力传感器和第二柔性铰链，所述第二柔性铰链的另一端用于连接负载平台；

所述压电执行器和力传感器均与所述控制器连接；

所述力传感器用于检测负载平台的振动信号，并将振动信号传递给控制器，控制器采用 PI 反馈控制方法控制压电执行器施加作用力在负载平台上，从而对负载平台进行补偿以减小负载平台的振动；

所述压电执行器包括压电单元及力放大机构，所述力放大机构用于放大压电单元的输出力以减小负载平台的振动。

2、根据权利要求 1 所述的一种压电主动隔振机构，其特征在于：所述控制器包括比例控制器和积分器，以保证控制器获得高增益，提高其控制效果。

3、一种压电主动隔振机构，其特征在于：包括第一力传感器、弹簧波纹管、中间质量块、第一柔性铰链、压电执行器、第二力传感器、第二柔性铰链和控制器，其中，

所述第一力传感器的一端用于连接基础平台，其另一端依次连接所述弹簧波纹管、中间质量块、第一柔性铰链、压电执行器、第二力传感器和第二柔性铰链，所述第二柔性铰链的另一端用于连接负载平台；

所述第一力传感器、压电执行器和第二力传感器均与所述控制器连接；

所述第一力传感器和第二压力传感器分别用于检测基础平台和负载平台的振动信号，并分别将检测的振动信号传递给控制器，以使控制器控制压电执行器施加作用力在负载平台上，从而对负载平台进行补偿以减小负

载平台的振动。

4、根据权利要求3所述的一种压电主动隔振机构，其特征在于：所述控制器包括比例控制器和积分器，以保证控制器获得高增益。

5、一种降低振动系统固有频率的方法，其特征在于：所述振动系统包括基础平台、负载平台和权利要求1或2中任一所述的隔振机构，其中，所述隔振机构的第一柔性铰链与基础平台连接，所述第二柔性铰链与负载平台连接；

获得所述振动系统的传递率 G_1 ：

$$G_1 = \frac{Cs + K}{(M + k_p)s^2 + (C + k_i s) + K}$$

其中， C 为系统阻尼， K 为系统刚度， M 为负载质量，即第二柔性铰链上所承载的物体的质量， k_p 为控制器比例系数， k_i 为系统积分系数， s 为拉普拉斯变换的变量；

然后通过传递率获取系统的固有频率，则调节上述 k_p 的值，能降低系统的固有频率。

6、一种降低振动系统固有频率的方法，其特征在于：所述振动系统包括基础平台、负载平台和权利要求3或4中任一所述的隔振机构，其中，所述隔振机构的第一力传感器与基础平台连接，所述第二柔性铰链与负载平台连接；

获得所述振动系统的传递率 G_4 ：

$$G_4 = \frac{C_0 C_1 s^2 + (K_1 C_0 + K_0 C_1) s + K_0 K_1}{(M_0 M_1 + M_0 k_p) s^4 + (M_0 C_1 + M_1 C_0 + M_1 C_1 + M_0 k_i + C_0 k_p) s^3 + (M_1 K_1 + M_0 K_1 + M_1 K_0 + C_0 C_1 + C_0 k_i + K_0 k_p) s^2 + (C_1 K_0 + C_0 K_1 + K_0 k_i) s + K_0 K_1}$$

其中， C_0 为靠近基础平台的第一级隔振单元的阻尼， K_0 为靠近基础平台的第一级隔振单元的刚度， C_1 为靠近负载平台的第二级隔振单元的阻尼， K_1 为靠近负载平台的第二级隔振单元的刚度， M_0 为中间质量块的质量， M_1

为负载质量，即第二柔性铰链上所承载的物体的质量， k_p 为控制器比例系数， k_i 为系统积分系数， s 为拉普拉斯变换的变量；

然后通过传递率获取系统的固有频率，则调节上述 k_p 的值，能降低系统的固有频率。

附图

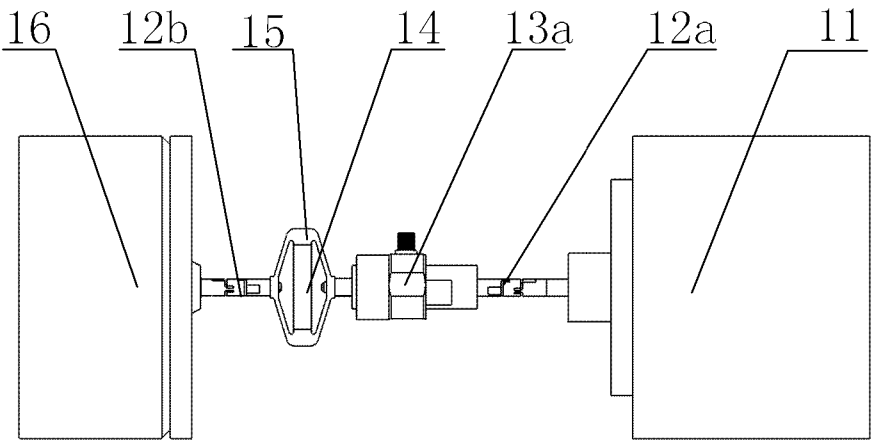


图 1 (a)

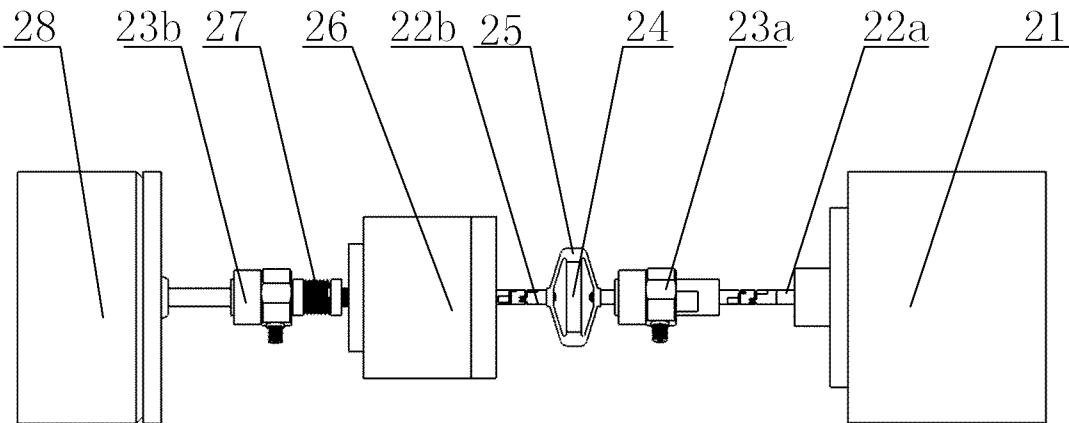


图 1 (b)

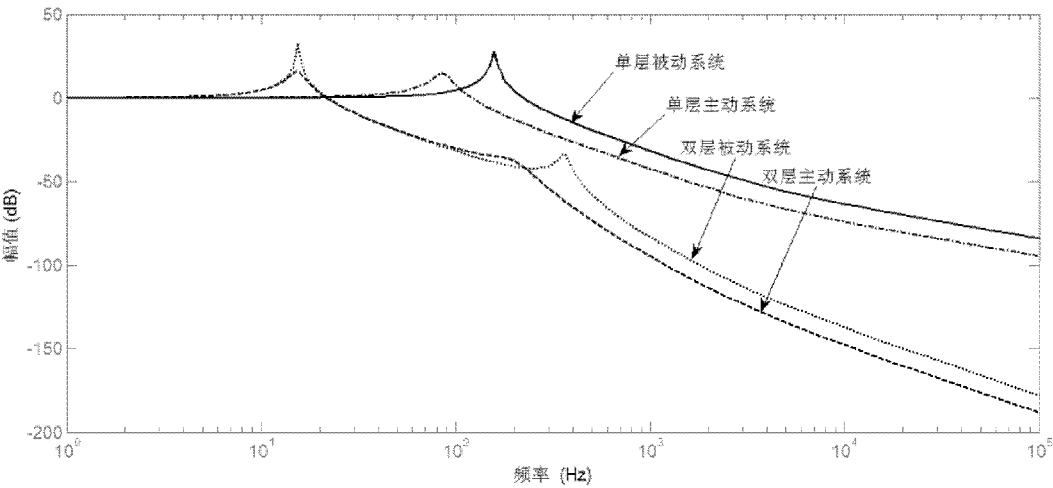


图 2

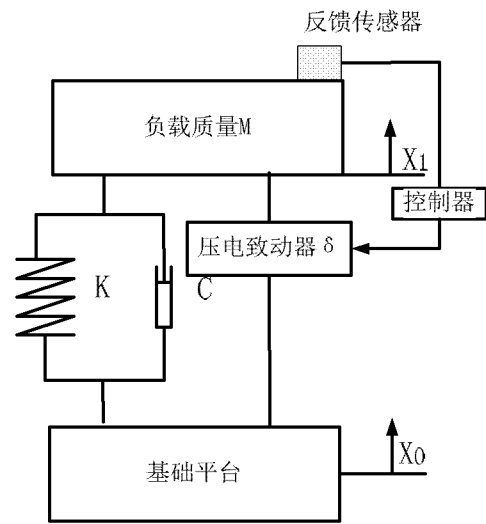


图 3 (a)

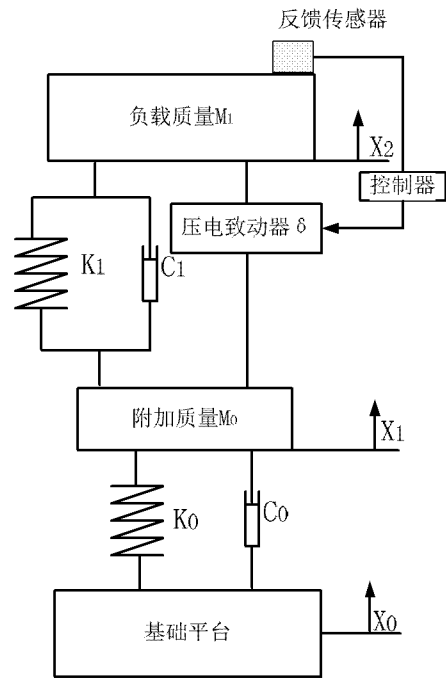


图 3 (b)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2016/087427

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F16F 15/02 (2006.01) i; G05D 19/02 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F16F; G05D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: piezo+, resilient, flexible, hinge, gemel, load

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 105134866 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY), 09 December 2015 (09.12.2015), claims 1-6	1-6
PX	CN 105094165 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY), 25 November 2015 (25.11.2015), description, paragraphs [0063]-[0065], and figures 1-4	1-2
A	CN 103587724 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS), 19 February 2014 (19.02.2014), description, paragraphs [0017]-[0036], and figures 1-5	1-6
A	CN 104265829 A (SHANGHAI INSTITUTE OF SATELLITE ENGINEERING), 07 January 2015 (07.01.2015), the whole document	1-6
A	US 2007024829 A1 (CANON KABUSHIKI KAISHA), 01 February 2007 (01.02.2007), the whole document	1-6
A	EP 1503246 A2 (CANON KABUSHIKI KAISHA), 02 February 2005 (02.02.2005), the whole document	1-6

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“&” document member of the same patent family
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 30 August 2016 (30.08.2016)	Date of mailing of the international search report 09 October 2016 (09.10.2016)
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer YAN, Zhou Telephone No.: (86-10) 62085299

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2016/087427

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 105134866 A	09 December 2015	None	
CN 105094165 A	25 November 2015	None	
CN 103587724 A	19 February 2014	CN 103587724 B	13 April 2016
CN 104265829 A	07 January 2015	None	
US 2007024829 A1	01 February 2007	JP 2004340372 A	02 December 2004
		US 7145270 B2	05 December 2006
		US 2004212794 A1	28 October 2004
		JP 4574206 B2	04 November 2010
EP 1503246 A2	02 February 2005	EP 1503246 A3	31 December 2008
		US 7187106 B2	06 March 2007
		JP 2005064474 A	10 March 2005
		US 2005035684 A1	17 February 2005
		JP 4649136 B2	09 March 2011

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2016/087427

A. 主题的分类

F16F 15/02 (2006.01) i; G05D 19/02 (2006.01) i

按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号)

F16F; G05D

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用))

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 压电, 柔性, 铰链, 铰接, 负荷, 负载, 载荷, piezo+, resilient, flexible, hinge, gemel, load

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 105134866 A (华中科技大学) 2015年 12月 9日 (2015 - 12 - 09) 权利要求1-6	1-6
PX	CN 105094165 A (华中科技大学) 2015年 11月 25日 (2015 - 11 - 25) 说明书第[0063]-[0065]段和附图1-4	1-2
A	CN 103587724 A (南京航空航天大学) 2014年 2月 19日 (2014 - 02 - 19) 说明书第[0017]-[0036]段和附图1-5	1-6
A	CN 104265829 A (上海卫星工程研究所) 2015年 1月 7日 (2015 - 01 - 07) 全文	1-6
A	US 2007024829 A1 (CANON KABUSHIKI KAISHA) 2007年 2月 1日 (2007 - 02 - 01) 全文	1-6
A	EP 1503246 A2 (CANON KABUSHIKI KAISHA) 2005年 2月 2日 (2005 - 02 - 02) 全文	1-6

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2016年 8月 30日

国际检索报告邮寄日期

2016年 10月 9日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中华人民共和国国家知识产权局 (ISA/CN)
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

受权官员

闫周

传真号 (86-10) 62019451

电话号码 (86-10) 62085299

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2016/087427

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	105134866	A	2015年 12月 9日	无			
CN	105094165	A	2015年 11月 25日	无			
CN	103587724	A	2014年 2月 19日	CN	103587724	B	2016年 4月 13日
CN	104265829	A	2015年 1月 7日	无			
US	2007024829	A1	2007年 2月 1日	JP	2004340372	A	2004年 12月 2日
				US	7145270	B2	2006年 12月 5日
				US	2004212794	A1	2004年 10月 28日
				JP	4574206	B2	2010年 11月 4日
EP	1503246	A2	2005年 2月 2日	EP	1503246	A3	2008年 12月 31日
				US	7187106	B2	2007年 3月 6日
				JP	2005064474	A	2005年 3月 10日
				US	2005035684	A1	2005年 2月 17日
				JP	4649136	B2	2011年 3月 9日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)