



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 204666087 U

(45) 授权公告日 2015. 09. 23

(21) 申请号 201520196314. 3

(22) 申请日 2015. 04. 02

(73) 专利权人 香港理工大学深圳研究院
地址 518000 广东省深圳市南山区高新园南
区粤兴一道 18 号香港理工大学产学研
大楼 205 室

(72) 发明人 景兴建 王宇 孙秀婷

(74) 专利代理机构 深圳中一专利商标事务所
44237

代理人 李艳丽

(51) Int. Cl.
G01B 7/02(2006. 01)

权利要求书2页 说明书8页 附图6页

(54) 实用新型名称

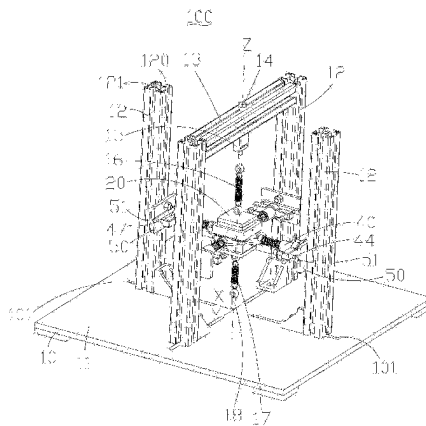
基于准零刚度理论的新型振动测量平台及测试装置

(57) 摘要

本实用新型提供了一种基于准零刚度理论的新型振动测量平台及测试装置,其包括底座、纵梁、横梁及依次设置的上部调节件、载荷传感器、上部拉伸弹簧、质量块、下部拉伸弹簧及下部调节件,四根纵梁与质量块的四侧面之间分别形成有水平支撑质量块的支撑组合,其包括卡于侧面上的内部连接件、外部连接件、线性轴承、两个调节螺栓、碳纤维滑杆及压缩弹簧,压缩弹簧的预压缩

量 λ_0 满足: $\lambda_0 = \frac{2K_v}{2K_v + 4K_h}(a+b+L_0)$, 其中,

a 为内部连接件的等效长度, b 为外部连接件的等效长度, L_0 为压缩弹簧的原长, K_v 为所述上部拉伸弹簧的刚度, K_h 为压缩弹簧的刚度。本新型实用具有测量准确, 成本低以及测量及时的优点, 解决了传统加速度传感器测量振动面临的时间延迟, 积累误差及安装环境要求高等缺点。



1. 一种基于准零刚度理论的新型振动测量平台,其特征在于:所述振动测量平台包括具有安装平面的底座、安装于所述底座上的四根纵梁及横跨安装于两根所述纵梁之间的横梁,四根所述纵梁垂直于所述底座的安装平面,四根所述纵梁具有垂直于所述安装平面的对称中心线,四根所述纵梁相对于该对称中心线对称,所述横梁横跨连接于处于对角的两根所述纵梁的顶部上,所述横梁平行于所述安装平面,所述振动测量平台还包括依次设置于所述对称中心线上的上部调节件、用以将力信号转换为电压信号的载荷传感器、上部拉伸弹簧、质量块、下部拉伸弹簧及下部调节件,所述上部拉伸弹簧拉伸连接于所述载荷传感器与所述质量块的上部之间,所述下部拉伸弹簧拉伸连接于所述质量块的下部与所述下部调节件之间,所述下部调节件连接于所述底座上并可调节,所述载荷传感器通过可调节的所述上部调节件悬挂于所述横梁上,所述上部拉伸弹簧与所述下部拉伸弹簧的刚度相同,所述质量块具有四侧面,每相邻两个所述侧面相互垂直,四根所述纵梁与所述质量块的四个所述侧面之间分别形成有水平支撑所述质量块的支撑组合,每一个所述支撑组合包括卡于所述侧面上的内部连接件、外部连接件、连接于所述外部连接件的内侧中部的线性轴承、穿设于所述外部连接件的相对两端部上的两个调节螺栓、一端固定连接于所述内部连接件上的碳纤维滑杆及套设于所述碳纤维滑杆上的压缩弹簧,所述碳纤维滑杆的另一端穿设于所述线性轴承及所述外部连接件上,所述压缩弹簧压缩于所述线性轴承与所述内部连接件之间,四根所述纵梁上分别连接有一限位挂板,所述调节螺栓具有一尖端部,该尖端部卡于

所述限位挂板上,所述压缩弹簧的预压缩量 λ_0 满足: $\lambda_0 = \frac{2K_v}{2K_v + 4K_h}(a+b+L_0)$, 其中, a 为所述内部连接件的等效长度, b 为所述外部连接件的等效长度, L_0 为压缩弹簧的原长, K_v 为所述上部拉伸弹簧的刚度, K_h 为压缩弹簧的刚度。

2. 如权利要求 1 所述的基于准零刚度理论的新型振动测量平台,其特征在于:所述质量块的所述侧面与所述内部连接件之间为点接触或线接触,所述调节螺栓的尖端部与所述限位挂板之间为点接触或线接触。

3. 如权利要求 1 所述的基于准零刚度理论的新型振动测量平台,其特征在于:所述质量块的每一个所述侧面上开设有第一卡槽,所述第一卡槽的横截面为 V 形,所述限位挂板上开设有第二卡槽,所述第二卡槽的横截面为 V 形,所述调节螺栓的尖端部抵顶于所述第二卡槽的槽底,所述内部连接件上具有刃部,所述刃部抵顶于所述第一卡槽的槽底。

4. 如权利要求 3 所述的基于准零刚度理论的新型振动测量平台,其特征在于:所述内部连接件的刃部与所述第一卡槽之间为线接触,所述调节螺栓的尖端部与所述第二卡槽之间为点接触;所述内部连接件的刃部与所述第一卡槽之间线接触的方向为水平方向,两个所述调节螺栓的尖端部与所述第二卡槽之间形成的两个点接触共同形成一直线,该直线和所述内部连接件的刃部与所述第一卡槽之间线接触的方向相同。

5. 如权利要求 1-4 任一项所述的基于准零刚度理论的新型振动测量平台,其特征在于:所述上部拉伸弹簧与所述下部拉伸弹簧均有 10mm 以上的预拉伸量。

6. 如权利要求 1-4 任一项所述的基于准零刚度理论的新型振动测量平台,其特征在于:所述纵梁为型材件,所述型材件的侧面设置有滑槽及对应该滑槽的板体,所述限位挂板上安装有螺栓及与螺栓相锁合的螺母,所述螺栓的头部在所述滑槽内滑动,所述螺母于所

述限位挂板移动至预定位置时锁紧于所述螺栓上,所述板体夹于所述螺栓的头部与所述限位挂板之间。

7. 如权利要求 1-4 任一项所述的基于准零刚度理论的新型振动测量平台,其特征在于:所述底座上开设有四条通槽,该四条通槽相对于所述对称中心线对称,每条所述通槽对应一个所述纵梁,所述纵梁与所述底座的固定位置可沿对应的所述通槽移动。

8. 一种基于准零刚度理论的新型振动测量装置,其特征在于:所述振动测量装置包括如权利要求 1-7 任一项所述的基于准零刚度理论的新型振动测量平台、与所述载荷传感器的信号输出端相连接以接收电压信号的信号变送器、与所述信号变送器连接以将电压信号转换为数字信号并进行时域和 / 或频域分析的分析装置。

9. 如权利要求 8 所述的基于准零刚度理论的新型振动测量装置,其特征在于:所述分析装置由开发板及上位机组成。

基于准零刚度理论的新型振动测量平台及测试装置

技术领域

[0001] 本实用新型属于测量测试领域,尤其涉及一种基于准零刚度理论的新型振动测量平台及测试装置。

背景技术

[0002] 机械振动是困扰工业发展的主要问题,现有的振动隔离方式主要包括主动隔振与被动隔振,被动隔振主要面临有效性与稳定性两个问题,通常当弹簧阻尼隔振系统的刚度较大时,其对低频振动的隔离性较差;当系统刚度较小时又会面临静态承载能力差的问题。主动/半主动隔振是当前发展的热门方向,通过改变系统阻尼或刚度的方式来实现隔振频段的扩展与静态载荷能力的加强。然而,主动/半主动隔振首先需要测量到振动系统的信息,包括:振幅、频率等,传统的振动测量方式主要通过加速度传感器来采集物体在某一方向上的加速度信号,两次积分后可以得到物体的振动位移信号。此种方法主要面临时间延迟与静态误差两个问题。前者会导致闭环控制中的反馈滞后,不仅影响了隔振效果,甚至在某些情况下会加强振动。后者表示测量到的振动位移是相对量,且初始的误差会在振动中被逐步放大,影响测量精度与控制效果。

[0003] 另外一种测量振动位移量的方式是采用距离传感器如超声波传感器,但此种方法对于传感器的安装环境要求较高,不适用于移动物体的振动测量,如汽车等。此种方法的弊端还包括测量精度不足等。

[0004] 因此从结构出发,设计新的基于准零刚度理论的绝对振动位移测量设备以实现及时,精准地测量有着广泛的工程实践意义。

实用新型内容

[0005] 本实用新型的目的在于提供一种基于准零刚度理论的新型振动测量平台,旨在提解决现有测振方法面临的时间延迟,积累误差,安装环境要求严格等诸多缺点。

[0006] 本实用新型是这样实现的,一种基于准零刚度理论的新型振动测量平台,其包括具有安装平面的底座、安装于所述底座上的四根纵梁及横跨安装于两根所述纵梁之间的横梁,四根所述纵梁垂直于所述底座的安装平面,四根所述纵梁具有垂直于所述安装平面的对称中心线,四根所述纵梁相对于该对称中心线对称,所述横梁横跨连接于处于对角的两根所述纵梁的顶部上,所述横梁平行于所述安装平面,所述振动测量平台还包括依次设置于所述对称中心线上的上部调节件、用以将力信号转换为电压信号的载荷传感器、上部拉伸弹簧、质量块、下部拉伸弹簧及下部调节件,所述上部拉伸弹簧拉伸连接于所述载荷传感器与所述质量块的上部之间,所述下部拉伸弹簧拉伸连接于所述质量块的下部与所述下部调节件之间,所述下部调节件连接于所述底座上并可调节,所述载荷传感器通过可调节的所述上部调节件悬挂于所述横梁上,所述上部拉伸弹簧与所述下部拉伸弹簧的刚度相同,所述质量块具有四侧面,每相邻两个所述侧面相互垂直,四根所述纵梁与所述质量块的四个所述侧面之间分别形成有水平支撑所述质量块的支撑组合,每一个所述支撑组合包括卡

于所述侧面上的内部连接件、外部连接件、连接于所述外部连接件的内侧中部的线性轴承、穿设于所述外部连接件的相对两端部上的两个调节螺栓、一端固定连接于所述内部连接件上的碳纤维滑杆及套设于所述碳纤维滑杆上的压缩弹簧,所述碳纤维滑杆的另一端穿设于所述线性轴承及所述外部连接件上,所述压缩弹簧压缩于所述线性轴承与所述内部连接件之间,四根所述纵梁上分别连接有一限位挂板,所述调节螺栓具有一尖端部,该尖端部卡于

所述限位挂板上,所述压缩弹簧的预压缩量 λ_0 满足: $\lambda_0 = \frac{2K_v}{2K_v + 4K_h}(a+b+L_0)$ 其中, a 为

所内部连接件的等效长度, b 为所述外部连接件的等效长度, L_0 为压缩弹簧的原长, K_v 为所述上部拉伸弹簧的刚度, K_h 为压缩弹簧的刚度。

[0007] 进一步地,所述质量块的所述侧面与所述内部连接件之间为点接触或线接触,所述调节螺栓的尖端部与所述限位挂板之间为点接触或线接触。

[0008] 进一步地,所述质量块的每一个所述侧面上开设有第一卡槽,所述第一卡槽的横截面为 V 形,所述限位挂板上开设有第二卡槽,所述第二卡槽的横截面为 V 形,所述调节螺栓的尖端部抵顶于所述第二卡槽的槽底,所述内部连接件上具有刃部,所述刃部抵顶于所述第一卡槽的槽底。

[0009] 进一步地,所述内部连接件的刃部与所述第一卡槽之间为线接触,所述调节螺栓的尖端部与所述第二卡槽之间为点接触;所述内部连接件的刃部与所述第一卡槽之间线接触的方向为水平方向,两个所述调节螺栓的尖端部与所述第二卡槽之间形成的两个点接触共同形成一直线,该直线和所述内部连接件的刃部与所述第一卡槽之间线接触的方向相同。

[0010] 进一步地,所述上部拉伸弹簧与所述下部拉伸弹簧均有 10mm 以上的预拉伸量。

[0011] 进一步地,所述纵梁为型材件,所述型材件的侧面设置有滑槽及对应该滑槽的板体,所述限位挂板上安装有螺栓及与螺栓相锁合的螺母,所述螺栓的头部在所述滑槽内滑动,所述螺母于所述限位挂板移动至预定位置时锁紧于所述螺栓上,所述板体夹于所述螺栓的头部与所述限位挂板之间。

[0012] 进一步地,所述底座上开设有四条通槽,该四条通槽相对于所述对称中心线对称,每条所述通槽对应一个所述纵梁,所述纵梁与所述底座的固定位置可沿对应的所述通槽移动。

[0013] 本实用新型另一目的在于提供一种基于准零刚度理论的新型振动测量装置,其包括如上述振动测量平台、与所述载荷传感器的信号输出端相连接以接收电压信号的信号变送器、与所述信号变送器连接以将电压信号转换为数字信号并进行时域和 / 或频域分析的分析装置。

[0014] 进一步地,所述分析装置由开发板及上位机组成。

[0015] 本实用新型相对于现有技术的技术效果是:通过建立数学模型发现利用正负刚度并联的结构可以实现绝对振动隔离,创造绝对静止点。通过检测绝对静止点(质量块)与底座之间的相对位置变化,可以表征底座的绝对振动位移,此相对位移可以由载荷传感器测量。应用此结构于振动测量可以实现绝对振动位移量的直接测量,所以本新型实用具有测量准确,成本低以及测量及时的优点,可以应用于各种测试环境如汽车,精密加工,飞机等。测量到的信号可以直接用来进行主动 / 半主动悬架控制,解决了传统加速度传感器测量振

动面临的时间延迟, 积累误差及安装环境要求高等缺点, 提供了一种绝对振动位移测量的新平台 / 装置。

附图说明

[0016] 图 1 是本实用新型实施例提供的基于准零刚度理论的新型振动测量装置的测试平台的立体组装图。

[0017] 图 2 是图 1 的振动测量平台的立体分解图。

[0018] 图 3 是图 1 的振动测量平台的部分结构的立体分解图。

[0019] 图 4 是图 1 的振动测量平台的限位挂板与纵梁的立体分解图。

[0020] 图 5 示出了图 1 的所述振动测量平台的几何关系和结构参数, 其中该振动测量平台处于未受到振动的状态。

[0021] 图 6 示出了图 5 的振动测量平台受到振动影响的状态示意图。

[0022] 图 7 示出了图 1 的振动测量装置的硬件连接与信号流。

[0023] 图 8 示出了图 1 的振动测量装置的上位机基于 LabVIEW 的时域分析图。

[0024] 图 9 示出了图 1 的振动测量装置的上位机基于 LabVIEW 的频域分析图。

具体实施方式

[0025] 为了使本实用新型的目的、技术方案及优点更加清楚明白, 以下结合附图及实施例, 对本实用新型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实用新型, 并不用于限定本实用新型。

[0026] 须知, 本说明书所附图式绘示的结构、比例、大小等, 均仅用以配合说明书所揭示的内容, 以供熟悉此技术的人士了解与阅读, 并非用以限定本实用新型可实施的限定条件, 故不具技术上的实质意义, 任何结构的修饰、比例关系的改变或大小的调整, 在不影响本实用新型所能产生的功效及所能达成的目的下, 均应仍落在本实用新型所揭示的技术内容得能涵盖的范围内。同时, 本说明书中所引用的如“上”、“下”、“左”、“右”、“中间”及“一”等的用语, 亦仅为便于叙述的明了, 而非用以限定本实用新型可实施的范围, 其相对关系的改变或调整, 在无实质变更技术内容下, 当亦视为本实用新型可实施的范畴。

[0027] 请同时参阅图 1 至图 4, 本实用新型实施例提供的基于准零刚度理论的新型振动测量平台 100, 其包括具有安装平面 11 的底座 10、安装于所述底座 10 上的四根纵梁 12 及横跨安装于两根所述纵梁 12 之间的横梁 13, 四根所述纵梁 12 垂直于所述底座 10 的安装平面 11, 四根所述纵梁 12 具有垂直于所述安装平面 11 的对称中心线 Z, 四根所述纵梁 12 相对于该对称中心线 Z 对称, 所述横梁 13 横跨连接于处于对角的两根所述纵梁 12 的顶部上, 所述横梁 13 平行于所述安装平面 11, 所述振动测量平台 100 还包括依次设置于所述对称中心线 Z 上的上部调节件 14、用以将力信号转换为电压信号的载荷传感器 15、上部拉伸弹簧 16、质量块 20、下部拉伸弹簧 17 及下部调节件 18, 所述上部拉伸弹簧 16 拉伸连接于所述载荷传感器 15 与所述质量块 20 的上部之间, 所述下部拉伸弹簧 17 拉伸连接于所述质量块 20 的下部与所述下部调节件 18 之间, 所述下部调节件 18 连接于所述底座 10 上并可调节, 所述载荷传感器 15 通过可调节的所述上部调节件 14 悬挂于所述横梁 13 上, 所述上部拉伸弹簧 16 与所述下部拉伸弹簧 17 的刚度相同, 所述质量块 20 具有四侧面 21, 每相邻

两个所述侧面 21 相互垂直,四根所述纵梁 12 与所述质量块 20 的四个所述侧面 21 之间分别形成有水平支撑所述质量块 20 的支撑组合 40,每一个所述支撑组合 40 包括卡于所述侧面 21 上的内部连接件 41、外部连接件 42、连接于所述外部连接件 42 的内侧中部的线性轴承 43、穿设于所述外部连接件 42 的相对两端部上的两个调节螺栓 44、一端固定连接于所述内部连接件 41 上的碳纤维滑杆 45 及套设于所述碳纤维滑杆 45 上的压缩弹簧 46,所述碳纤维滑杆 45 的另一端穿设于所述线性轴承 43 及所述外部连接件 42 上,所述压缩弹簧 46 压缩于所述线性轴承 43 与所述内部连接件 41 之间,四根所述纵梁 12 上分别连接有一限位挂板 50,所述调节螺栓 44 具有一尖端部 47,该尖端部 47 卡于所述限位挂板 50 上,所述压缩弹簧 46 的预压缩量 λ_0 满足:

[0028]
$$\lambda_0 = \frac{2K_v}{2K_v + 4K_h}(a+b+L_0) \quad \text{公式一}$$

[0029] 其中,a 为所内部连接件 41 的等效长度,b 为所述外部连接件 42 的等效长度, L_0 为压缩弹簧 46 的原长, K_v 为所述上部拉伸弹簧 16 的刚度, K_h 为压缩弹簧 46 的刚度。

[0030] 本实用新型设计上述测试平台,并根据参数 a、b、 L_0 、 K_v 、 K_h 来配置压缩弹簧 46 的预压缩量 λ_0 ,可以实现绝对振动位移量的直接测量。通过以上测试平台 100 实现振动隔离,创建绝对静止点,通过载荷传感器 15 测量质量块 20 与底座 10 之间的相对位移,进而代表底座 10 的绝对振动位移量。此测试平台 100 具有良好的实时性与测量精度,能够应用于广泛的频率区间的振动测量,并适用于各种环境,在工程上有广泛的应用潜力。

[0031] 请同时参阅图 5 和图 6,该理论公式一的得到是根据如下:

[0032] 通过牛顿运动学定律建立数学模型,可以得到水平压缩弹簧 46 在预压缩情况下的力 f_h 为:

[0033]
$$f_h = \left(a+b+L_0 - \sqrt{(a+b+L_0 - \lambda_0)^2 + x^2} \right) K_h \quad \text{公式二}$$

[0034] 其中, f_h 为水平压缩弹簧 46 的力, a 为内部连接件 41 的等效长度, b 为外部连接件 42 的等效长度, L_0 为水平压缩弹簧 46 的原长, λ_0 为水平压缩弹簧 46 预压缩量, x 为质量块 20 在竖直方向上相对于底座 10 的位移, K_h 为水平压缩弹簧 46 刚度。

[0035] 质量块 20 在竖直方向上的合力由水平压缩弹簧 46 在竖直方向上的分力与竖直拉伸弹簧 16、17 产生的力合成,可以由下式表达:

[0036]
$$\sum F = \frac{4 \left(a+b+L_0 - \sqrt{(a+b+L_0 - \lambda_0)^2 + x^2} \right) K_h x}{\sqrt{(a+b+L_0 - \lambda_0)^2 + x^2}} - 2K_v x \quad \text{公式三}$$

[0037] 其中, K_v 为竖直弹簧 16、17 的刚度,上式可通过泰勒展开得:

[0038]

$$\sum F = 2 \left(K_v - \frac{4K_h \lambda_0}{L_0 + a + b - \lambda_0} \right) x + 4K_h \left[\frac{1}{2(L_0 + a + b - \lambda_0)^2} + \frac{\lambda_0}{2\sqrt{(L_0 + a + b - \lambda_0)^3}} \right] x^3 + o(x^5)$$

[0039]

.....公式四

[0040] 去除公式四中的线性部分,即令一阶项参数为零可实现系统的非线性,可得公式一。

[0041] 通过建立数学模型发现利用正负刚度并联的结构可以实现绝对振动隔离,创造绝对静止点。通过检测绝对静止点(质量块 20)与底座 10 之间的相对位置变化,可以表征底座 10 的绝对振动位移,此相对位移可以由载荷传感器 15 测量。

[0042] 应用此结构于振动测量平台 100 可以实现绝对振动位移量的直接测量,所以本新型实用具有测量准确,成本低以及测量及时的优点,可以应用于各种测试环境如汽车,精密加工,飞机等。测量到的信号可以直接用来进行主动/半主动悬架控制,解决了传统加速度传感器测量振动面临的时间延迟,积累误差及安装环境要求高等缺点,提供了一种绝对振动位移测量的新方法和新的测试平台。

[0043] 请再次参阅图 1-4,在本实用新型中,底座 10 与纵梁 12 相互垂直,横梁 13 与纵梁 12 保持垂直,横梁 13 与底座 10 的安装平面 11 保持平行。四个纵梁 12 应该保证与底座 10 垂直以保持结构的对称性,并应保证质量块 20 四个侧面 21 到各个纵梁 12 距离的一致性。

[0044] 进一步地,所述上部拉伸弹簧 16 与所述下部拉伸弹簧 17 均有 10mm 以上的预拉伸量。采用相同刚度的上部、下部拉伸弹簧 17,且均有 10mm 以上的预拉伸以脱离并保证在振动中始终脱离拉伸弹簧的初始零变形区。由于质量块 20 质量的影响,上部拉伸弹簧 16 的变形量大于下部拉伸弹簧 17。

[0045] 上部拉伸弹簧 16 通过上部调节件 14 连接到载荷传感器 15,并保持二者方向相同。挂接下部拉伸弹簧 17,并连接其到底座 10,实现质量块 20 竖直振动方向的限制。

[0046] 在本实施例中,质量块 20 的重量是包括其上的配重块的重量,质量块 20 可以通过配重块的数量进行调节。

[0047] 进一步地,所述质量块 20 的所述侧面 21 与所述内部连接件 41 之间为点接触或线接触,所述调节螺栓 44 的尖端部 47 与所述限位挂板 50 之间为点接触或线接触,其目的是尽量减小各个部件之间的摩擦力,提高测量的准确性及灵敏性。

[0048] 具体地,所述质量块 20 的每一个所述侧面 21 上开设有第一卡槽 22,所述第一卡槽 22 的横截面为 V 形,所述限位挂板 50 上开设有第二卡槽 51,所述第二卡槽 51 的横截面为 V 形,所述调节螺栓 44 的尖端部 47 抵顶于所述第二卡槽 51 的槽底,所述内部连接件 41 上具有刃部 48,所述刃部 48 抵顶于所述第一卡槽 22 的槽底。

[0049] 调节支撑组合 40 的高度,使其平行于底座 10,支撑组合 40 一端的调节螺栓 44 的尖端部 47 抵顶于第二卡槽 51 的槽底,支撑组合 40 的另一端的内部连接件 41 的刃部 48 抵顶于第一卡槽 22 的槽底,此设计可以有效地限制质量块 20 振动时的自由度,质量块 20 的所有旋转运动与水平方向上的平移均被限制,质量块 20 的自由度被限制为竖直方向上的平动。此时,压缩弹簧 46 的预压缩量可以通过所述调节螺栓 44 来进行快速调节。

[0050] 进一步地,所述内部连接件 41 的刃部 48 与所述第一卡槽 22 之间为线接触,所述调节螺栓 44 的尖端部 47 与所述第二卡槽 51 之间为点接触;所述内部连接件 41 的刃部 48 与所述第一卡槽 22 之间线接触的方向为水平方向,两个所述调节螺栓 44 的尖端部 47 与所述第二卡槽 51 之间形成的两个点接触共同形成一直线,该直线和所述内部连接件 41 的刃部 48 与所述第一卡槽 22 之间线接触的方向相同,如此,支撑组合 40 与底座 10 的安装平面 11 相平行。

[0051] 进一步地,所述纵梁 12 为型材件,所述型材件的侧面 21 设置有滑槽 120 及对应该滑槽 120 的板体 121,所述限位挂板 50 上安装有螺栓 52 及与螺栓 52 相锁合的螺母 53,所述螺栓 52 的头部在所述滑槽 120 内滑动,所述螺母 53 于所述限位挂板 50 移动至预定位置时锁紧于所述螺栓 52 上,所述板体 121 夹于所述螺栓 52 的头部与所述限位挂板 50 之间。

[0052] 进一步地,所述底座 10 上开设有四条通槽 101,该四条通槽 101 相对于所述对称中心线 Z 对称,每条所述通槽 101 对应一个所述纵梁 12,所述纵梁 12 与所述底座 10 的固定位置可沿对应的所述通槽 101 移动。具体地,四个通槽 101 分别在底座 10 的 x 与 y 方向切割面成,四个通槽 101 形成十字状,并于底座 10 正中央位置打一通孔 102。

[0053] 底座 10 粘贴脚垫,防止底部与测试物体出现位置干涉。

[0054] 将纵梁 12 切割至预定长度,例如,300mm,并将其安装到底座 10 的通槽 101 中,保持四个纵梁 12 长度相同且均垂直于底座 10,位置相对并与中间通孔 102 的距离相等,例如,120mm。将横梁 13 安装于两根纵梁 12 之上,调整位置,使之平行于底座 10,并在横梁 13 中心位置打一通孔,使横梁 13 通孔与底座 10 通孔位置重合。

[0055] 悬挂载荷传感器 15 于横梁 13 中心,通过上部调节件 14 调整载荷传感器 15 与横梁 13 的间距。在这里,上部调节件 14 与下部调节件 18 均可以为标准件螺栓 52。

[0056] 通过上部拉伸弹簧 16 悬挂质量块 20(含配重块)于载荷传感器 15 之下,质量块 20 的下部通过下部拉伸弹簧 17 勾连至底座 10,上部、下部拉伸弹簧 17 均有预拉伸,且保证振动过程中两弹簧均始终存在拉伸量。

[0057] 水平方向上的支撑组合 40 首先需要进行单独装配,将调节螺栓 44 拧入外部连接件 42 后再将线性轴承 43 卡入外部连接件 42,将碳纤维滑杆 45 固定于内部连接件 41 上,将压缩弹簧 46 挤压于内部连接件 41 与线性轴承 43 之间。上述线性轴承 43 被应用,以实现支撑组合 40 的摩擦力最小化。四个支撑组合 40 支撑质量块 20,并保证质量块 20 的上下平面平行于底部的安装平面 11。

[0058] 将每个外部连接件 42 的两个调节螺栓 44 的尖头(即尖端部 47)卡入至纵梁 12 的限位挂板 50 的 V 型槽(即第二卡槽 51)中,将每个内部连接件 41 的刃部 48 插入至中央质量块 20 的 V 型槽(即第一卡槽 22)中,以起到自由度限制与振动幅度限制的作用。

[0059] 调整八条调节螺栓 44 的旋入深度,使每条调节螺栓 44 调节后的压缩弹簧 46 的预压缩量满足公式一,从而达到准零刚度的要求。在调节螺栓 44 的过程中,应始终保证支撑组合 40 平行于底座 10 的安装平面 11,不出现质量块 20 移动到上下死点的情况。

[0060] 在本实施例中,底座 10 采用 400mm*400mm 的亚克力板,加工方便且质轻坚固,适合作为原型机进行小批量调试加工测试使用,底座 10 中央打有螺纹孔,四个方向的中部开有通槽 101,方便调整纵梁 12 的相对位置。

[0061] 在本实施例中,纵梁 12 长度为 300mm,采用铝合金型材,质轻且刚度强,型材上的滑槽 120 方便随时调整横梁 13 位置与限位挂板 50 的悬挂高度。

[0062] 在本实施例中,横梁 13 为长度 240mm 的铝合金型材,中部打有螺纹孔,位置与底座 10 中央的螺纹孔同心对应,用于悬挂载荷传感器 15 与质量块 20。

[0063] 在本实施例中,通过上部调节件 14 的旋入深度可以对上部、下部拉伸弹簧 16、17 的拉伸量与质量块 20 位置进行微调。

[0064] 在本实施例中,载荷传感器 15 为电桥式结构,可以测量 0-50N 的拉力,精度为

0.1%，采用模拟量输出，5V 供电。

[0065] 在本实施例中，上部拉伸弹簧 16 的参数：刚度为 0.15N/mm，原长为 30mm，外径为 6mm，线径为 0.55mm，初始变形拉力为 9.5N。下部拉伸弹簧 17 与上部拉伸弹簧 16 具有相同的参数。

[0066] 在本实施例中，质量块 20 为 400g，上下开有螺纹孔（未标示），方便添加配重与连接螺栓。四周开有 V 型槽（即第一卡槽 22），方便内部连接件 41 的刃部 48 卡入，起到运动限位与限制质量块 20 自由度的作用。

[0067] 在本实施例中，支撑组合 40 由六个子部件构成，即内部连接件 41、压缩弹簧 46、线性轴承 43、调节螺栓 44、外部连接件 42、碳纤维滑杆 45。所有子部件均依照尽可能质轻的原则设计与加工，以减小转动惯量对于系统测量精度的影响。

[0068] 具体地，内部连接件 41 起到连接碳纤维滑杆 45 与质量块 20 的作用，由 3D 打印而成，质量为 2g，尖端为刀刃型结构，方便嵌入至质量块 20 的 V 型槽（即第一卡槽 22）中；外部连接件 42 由 3D 打印制成，形状为特殊设计，可以将调节螺栓 44 与线性轴承 43 连接到一起，质量为 6g；压缩弹簧 46 在装配时存有预压缩，自由长度为 30mm，弹簧外径为 11.25mm，线径 1.25mm，刚度为 4.5N/mm，通过 2mm 的预压缩使系统呈现准零刚度特性。

[0069] 压缩弹簧 46 在受力时容易出现径向变形，会影响系统的稳定性，因此需要采用心轴结构确保压缩弹簧 46 只存在轴向运动，由此，采用轻质线性轴承 43 与碳纤维滑杆 45 配合使用，既能实现运动限位，也能减小滑动时的摩擦力。

[0070] 水平压缩弹簧 46 的预压缩量对准零刚度能否实现起决定性作用，因此需要进行微调，此处通过带尖端部 47 的调节螺栓 44（非标准件）实现此功能，既方便微调，又能通过尖端部 47 卡入到限位挂板 50 的第二卡槽 51 的方式，起到减小摩擦力与运动限位的作用。

[0071] 本实用新型的测试平台 100 尽量采用标准件以减少加工量，达到降低成本，减轻自重的目的。

[0072] 本实用新型另一目的在于提供一种基于准零刚度理论的新型振动测量装置，其包括如上述振动测量平台 100、与所述载荷传感器 15 的信号输出端相连接以接收电压信号的信号变送器（图未示）、与所述信号变送器连接以将电压信号转换为数字信号并进行时域和 / 或频域分析的分析装置。进一步地，所述分析装置由开发板（图未示）及上位机（图未示）组成。分析装置由开发板及上位机实现，程序是本领域技术人员常用的或依据所要得到的功能并动用现有技术中的编程手段均可以得到，在此对程序部分不加赘述。

[0073] 上述测试装置能够达到 100 次 / 秒的采样频率，并可控制误差在 0.1% 以内。

[0074] 请同时参阅 7，上述测试装置的装配过程如下：

[0075] a) 搭建基于准零刚度的测振平台框架，根据准零刚度理论，配合实际零件配置系统参数，具体地，调整纵梁 12 之间的位置与距离并固定到底座 10 上；调整上部横梁 13 与底座 10 之间的距离并进行固定；将载荷传感器 15 悬挂于上部横梁 13 下；将质量块 20 通过上部、下部拉伸弹簧 16、17 悬挂于测振平台 100 中央；将四周的压缩弹簧 46 通过支撑组合 40 装配至质量块 20 与四周纵梁 12 之间，并通过调节螺栓 44 调整压缩弹簧 46 的预压缩量至理论值；

[0076] b) 连接测量电路硬件，具体地，将载荷传感器 15 连接到信号变送器并配置供电和信号输出端口；将信号变送器的输出端接入至 TI 公司 TMS320F28335 开发板的 AD0 采样通

道 ;为开发板配置供电电路 ;将开发板通过串行接口连接至计算机 (即上位机)USB 端口 ;
[0077] c) 烧录下位机采样软件,具体地,设置采样频率为 100 次 / 秒 ;配置采样精度为 0.1% ;配置串口通道,波特率等相关参数 ;通过仿真器烧录编译好的采样和通讯程序到控制器 ;

[0078] d) 运行并配置上位机监控软件,具体地,选择串口通道 ;配置串口参数 ;调整时域监控窗口参数 ;调整频域监控窗口参数 ;

[0079] 载荷传感器 15 为电桥结构,通过电桥的变形把力的信号转换为电压信号,信号输出端连接至信号变送器。信号变送器负责为载荷传感器 15 供电,并对载荷传感器 15 的信号进行滤波、电压限位,输出与拉力量相对应的电压信号,将其连接至开发板的 ADO 通道。

[0080] 上述开发板为基于 TI 公司 DSP 产品 TMS320F28335 的控制器,运算频率高达 150MHz,支持浮点数运算,配有外部串行通信、模拟量采集等丰富接口。能够实现精确及时的信号测量,其采用 5V 供电,将串口通过 USB 转接线连接至计算机。

[0081] 信号采集软件工作于定时中断模式下,采用 10ms 的定时中断,中断服务程序中进行模拟量到数字量的转换,并通过 SCI 串口将所转化成的数字量发送至上位机,能够实现 100 次 / 秒的采样频率,采样精度高达 0.1%。

[0082] 上位机软件基于 LabVIEW 开发生成,能够将下位机传送来的数字信号在时域窗口进行实时显示,并每秒进行一次频域分析,显示在频域分析窗口,所显示的时域分析图与频域分析图,如图 8 和图 9 所示。

[0083] 以上所述仅为本实用新型的较佳实施例而已,并不用以限制本实用新型,凡在本实用新型的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本实用新型的保护范围之内。

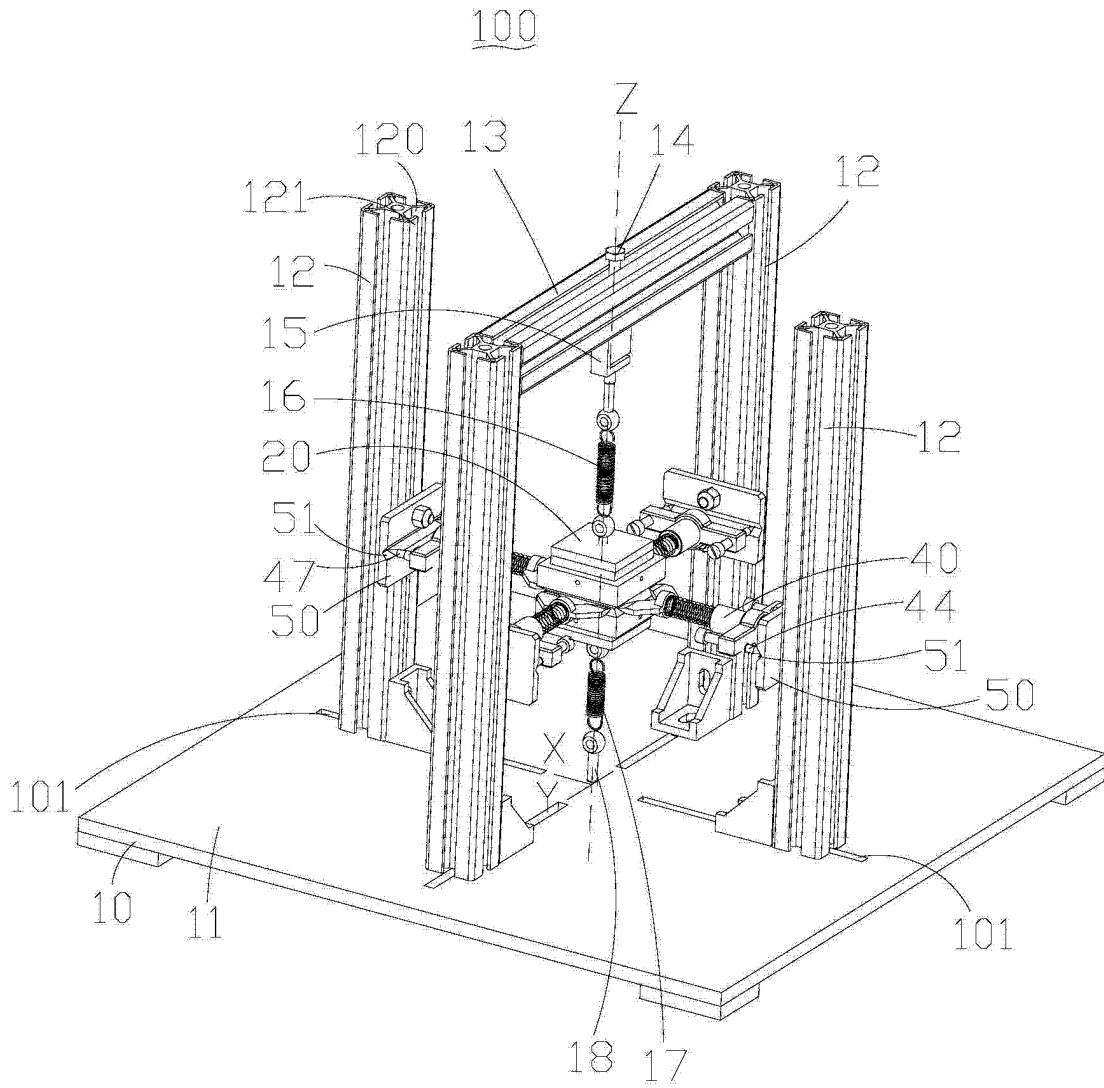


图 1

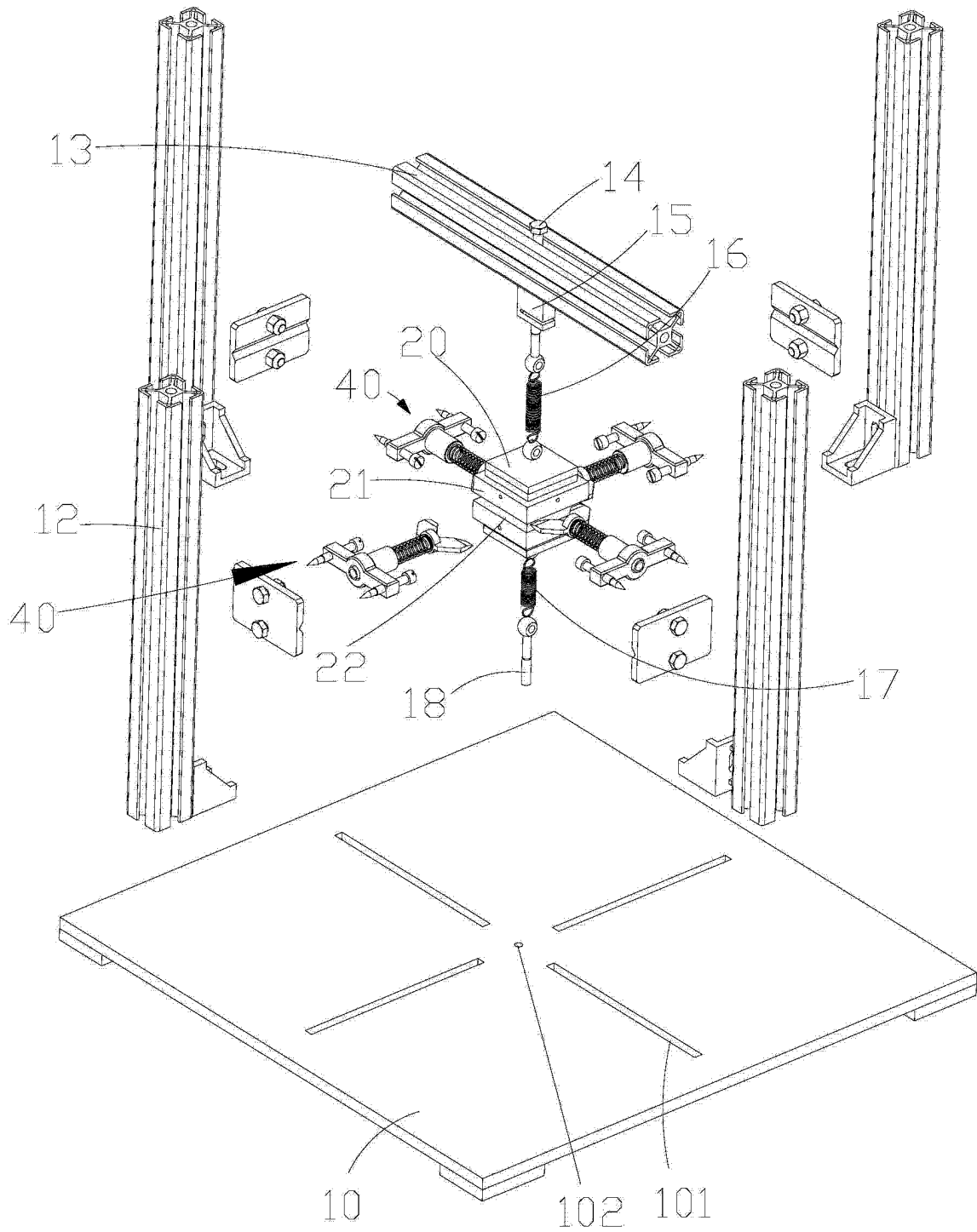


图 2

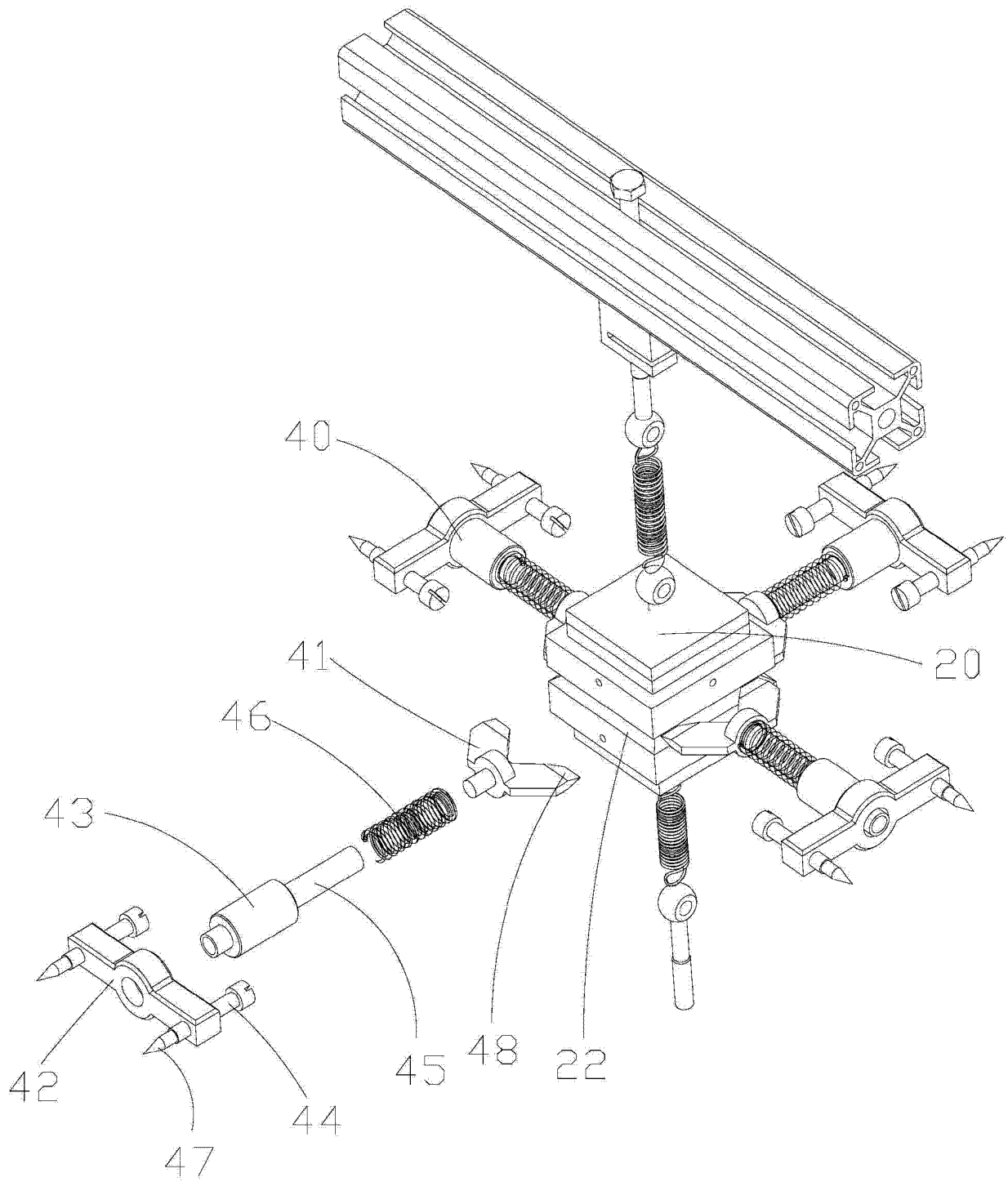


图3

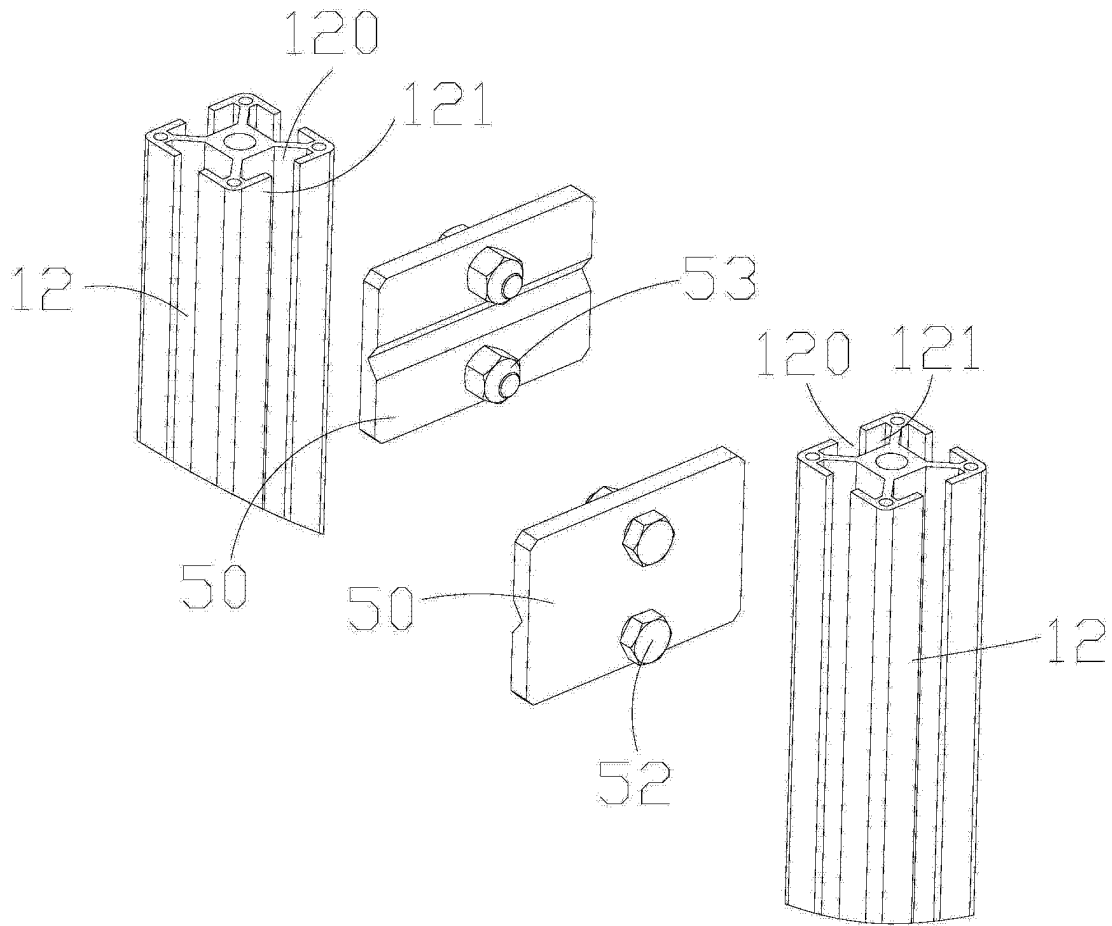


图 4

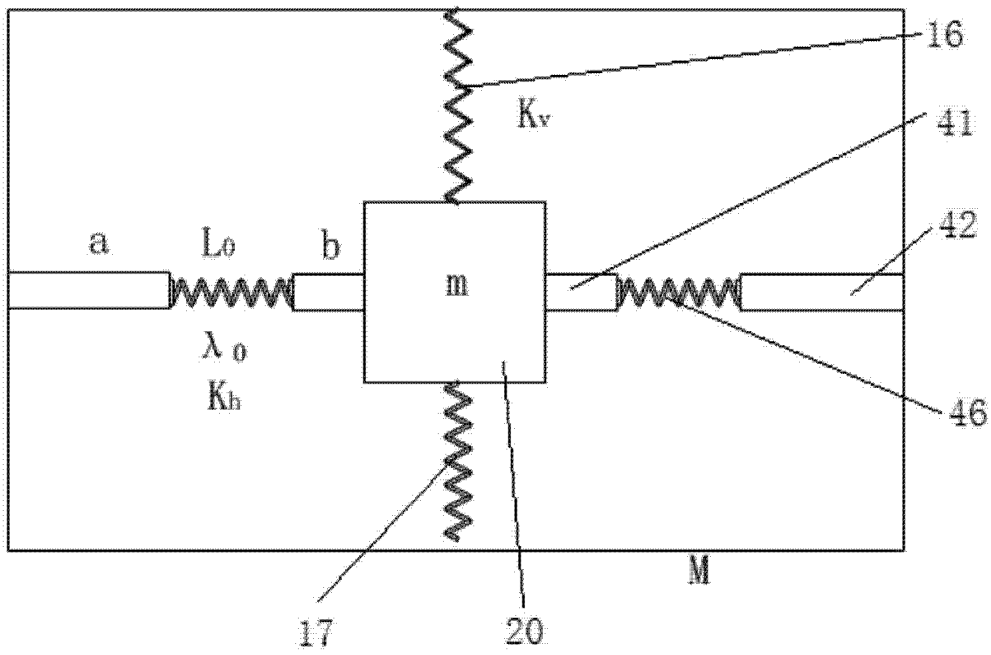


图 5

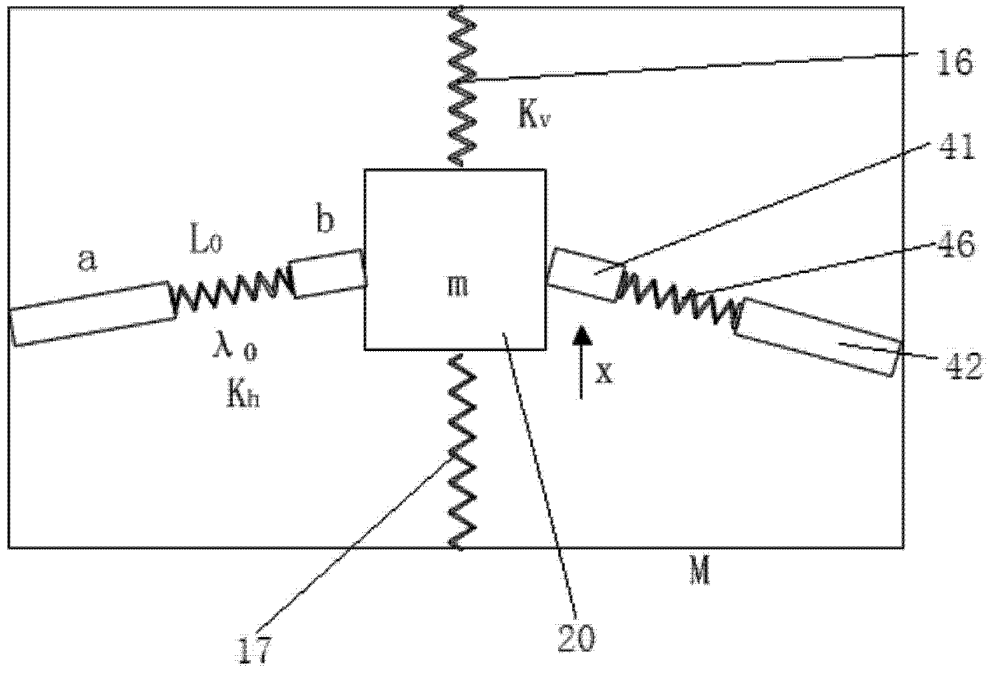


图 6

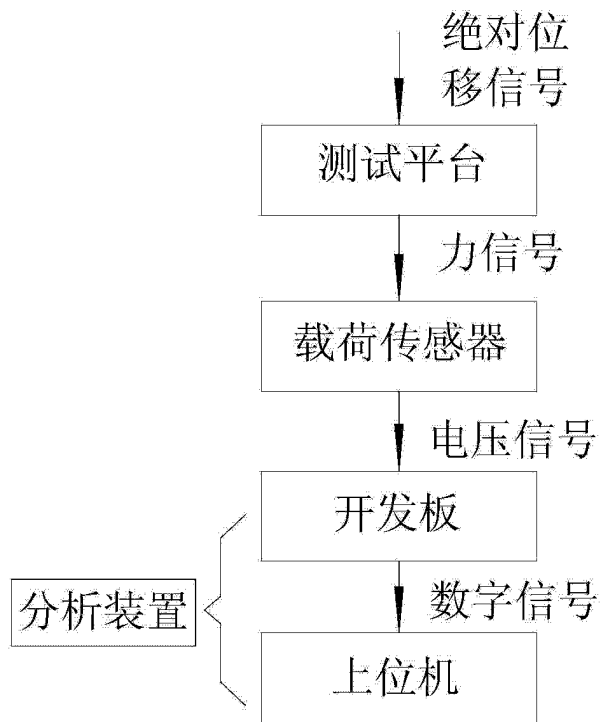


图 7

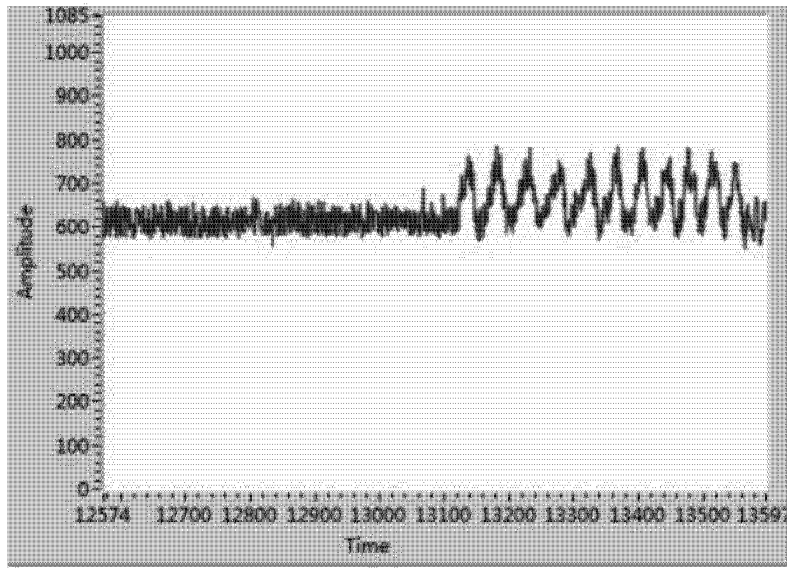


图 8

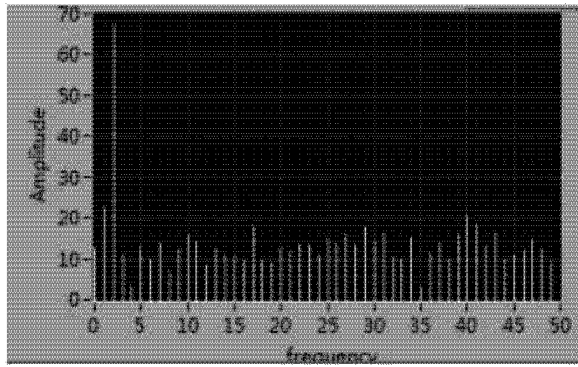


图 9