



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101067435 B

(45) 授权公告日 2012. 07. 04

(21) 申请号 200710102263. 3

(22) 申请日 2007. 05. 08

(30) 优先权数据

11/418, 345 2006. 05. 03 US

(73) 专利权人 伯斯有限公司

地址 美国马萨诸塞州

(72) 发明人 J·A·帕里森 C·J·布林

R·F·奥戴

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所

11256

代理人 王茂华

(51) Int. Cl.

F16F 15/03 (2006. 01)

B60N 2/50 (2006. 01)

审查员 周玄

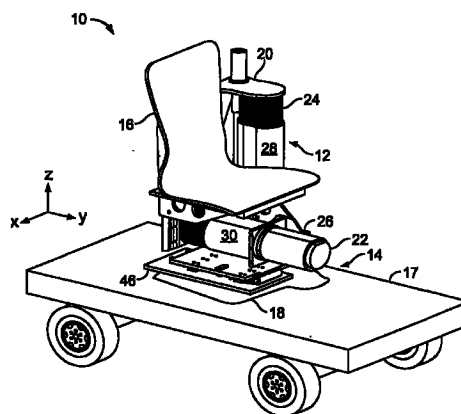
权利要求书 2 页 说明书 16 页 附图 22 页

(54) 发明名称

主动悬挂

(57) 摘要

一种用于在交通工具中主动悬挂实际设备的方法,包括基于在实际设备的特性与标称设备的特性之间的差异来修改控制信号,其中实际设备的特性由实际设备对控制信号的响应来指示。



1. 一种用于主动悬挂的装置,包括:

力偏压元件,耦合到交通工具中的设备,所述力偏压元件具有可变低刚度弹簧的动态特征并且进一步具有低带宽;以及

主动悬挂,包括位于所述力偏压元件内部内的线性电磁执行器,所述线性电磁执行器具有高带宽并且耦合到所述设备。

2. 根据权利要求 1 的装置,其中通过分隔频率使所述低带宽与所述高带宽隔开。

3. 根据权利要求 2 的装置,其中所述分隔频率为 1/3Hz。

4. 根据权利要求 1 的装置,其中所述高带宽包括所述设备的一部分经历共振的频率。

5. 根据权利要求 1 的装置,其中所述高带宽包括 2Hz 到 20Hz 的频率范围。

6. 根据权利要求 1 的装置,其中所述主动悬挂还包括位于所述力偏压元件内部内的传感器。

7. 根据权利要求 1 的装置,其中所述主动悬挂还包括位于所述力偏压元件内部内的电力电子设备。

8. 一种在具有设备的交通工具中用于主动悬挂的装置,包括:

耦合到所述设备的力偏压消除器,其具有可变低刚度弹簧的动态特征并且具有低带宽;以及

主动悬挂,包括耦合到所述设备并且具有高带宽的电磁执行器,所述电磁执行器提供致动力,以及所述电磁执行器的运动在相对于所述设备的重心的运动的 45 度相位角内。

9. 根据权利要求 8 的装置,其中所述高带宽包括 2Hz 到 20Hz 的频率范围。

10. 根据权利要求 8 的装置,其中基本上通过所述设备的重心提供所述致动力。

11. 根据权利要求 8 的装置,其中所述电磁执行器包括两个力产生装置,每个力产生装置沿各自的轴向所述设备施加力。

12. 根据权利要求 11 的装置,其中一个轴基本上不通过所述设备的重心。

13. 根据权利要求 8 的装置,其中所述致动力是垂直定向的。

14. 根据权利要求 8 的装置,其中所述主动悬挂系统还包括悬挂联动。

15. 根据权利要求 13 的装置,其中所述电磁执行器基本上耦合到所述设备的重心。

16. 根据权利要求 15 的装置,其中所述电磁执行器通过枢轴结构基本上耦合到所述设备的重心,当所述电磁执行器在最高行程工作时所述枢轴结构强制从地面到所述设备的高度小于 15 英寸。

17. 根据权利要求 16 的装置,其中所述电磁执行器通过万向接头枢轴基本上耦合到所述设备的重心。

18. 一种在具有设备的交通工具中用于主动悬挂的方法,包括:

使耦合到所述设备的低带宽力偏压元件在低频范围工作,其中所述力偏压元件具有可变低刚度弹簧的动态特征;以及

使耦合到所述设备的高带宽电磁执行器在高频范围工作,使得所述电磁执行器的运动在相对于所述设备的重心的运动的 45 度相位角内。

19. 根据权利要求 18 的方法,其中通过分隔频率使所述高频范围基本上与低频范围隔开。

20. 根据权利要求 19 的方法,其中所述分隔频率为 1/3Hz。

21. 根据权利要求 18 的方法,其中使所述执行器工作的步骤包括使所述执行器提供基本上通过所述设备的重心的力。

主动悬挂

[0001] 本申请是 2004 年 10 月 29 日提交的美国申请号 10/978, 105 的部分继续申请并要求其优先权, 其全部内容结合于此作为参考。

技术领域

[0002] 本发明涉及主动悬挂。

背景技术

[0003] 沿期望方向运动的交通工具也不可避免地经历沿其他方向的运动。该不期望的运动通常起因于交通工具行进通过的介质中的干扰。例如, 无论交通工具是通过陆、海、还是空行进, 它都可能遇到撞击、波浪、气穴等。

[0004] 最好的情况是, 这种随机加速对交通工具中的人造成不舒服和烦恼。对于某些易受影响的人, 这些随机加速可能引起一轮晕动。然而, 在一些情况下, 特别急剧的加速将引起操作者暂时失去对交通工具的控制。

[0005] 即使当稳定时, 也存在一些与交通工具的发动机相关联的剩余振动。在运动中, 即使在平坦的道路上, 该剩余振动可能变得难以忍受地令人厌烦。

发明内容

[0006] 通常, 在一个方面中, 力偏压元件耦合到交通工具中的设备, 该力偏压元件具有低带宽, 以及主动悬挂包括位于该力偏压元件内部的线性电磁执行器, 该线性电磁执行器具有高带宽并且耦合到设备。

[0007] 实施可以包括一个或多个以下特征。通过分隔 (crossover) 频率使低带宽基本上与高带宽隔开。分隔频率为 1/3Hz。高带宽包括设备的一部分经历共振的频率。高带宽包括 2Hz 到 20Hz 的频率范围。主动悬挂还包括位于力偏压元件内部的传感器。主动悬挂还包括位于力偏压元件内部的电力电子设备。

[0008] 通常, 在另一方面中, 在具有一种设备交通工具中: 具有低带宽的力偏压消除器耦合到设备; 以及主动悬挂包括耦合到设备并且具有高带宽的电磁执行器, 电磁执行器提供致动力, 以及电磁执行器的运动在相对于设备重心的运动的 45 度相位角内。

[0009] 实施可以具有一个或多个以下特征。高带宽包括 2Hz 到 20Hz 的频率范围。基本上通过设备重心提供致动力。电磁执行器包括两个力产生装置, 每个力产生装置沿各自的轴向设备施加力。其中一个轴基本上不通过设备重心。致动力是垂直定向的。主动悬挂系统还包括悬挂联动。电磁执行器基本上耦合到设备的重心。电磁执行器通过枢轴结构基本上耦合到设备的重心, 当电磁执行器在最高行程 (top stroke) 工作时该枢轴结构强制从地面到设备的高度小于 15 英寸。电磁执行器通过万向接头枢轴基本上耦合到设备的重心。

[0010] 通常, 在另一方面中, 在具有设备的交通工具中, 使耦合到设备的低带宽力偏压元件在低频范围工作; 以及使耦合到设备的高带宽电磁执行器在高频范围工作, 使得电磁执行器的运动在相对于设备重心的运动的 45 度相位角内。

- [0011] 实施可以包括一个或多个以下特征。通过分隔频率使高频范围基本上与低频范围隔开。分隔频率为 1/3Hz。使执行器工作包括使执行器提供基本上通过设备的重心的力。
- [0012] 其他特征和优点将从以下描述和权利要求中变得清楚明了。

附图说明

- [0013] 图 1 和图 4- 图 7 示出主动悬挂的设备；
- [0014] 图 2 和图 3 示出到主动悬挂的设备的并行连接和串行连接；
- [0015] 图 8 示出用于控制图 1 和图 4- 图 7 的主动悬挂的设备的控制系统；
- [0016] 图 9 示出图 8 的控制系统的实施方式；
- [0017] 图 10 示出隔振模块；
- [0018] 图 11- 图 12 示出具有不同类型的设备估计器的控制系统；
- [0019] 图 13 是由力偏压消除器使用的算法的流程图；
- [0020] 图 14 示出示例性力偏压消除器；
- [0021] 图 15 是示出力偏压消除器的处理的框图；
- [0022] 图 16 示出在其中测量设备的重量的控制系统；
- [0023] 图 17 示出用于故障保险系统的算法；
- [0024] 图 18 示出典型功率需求；
- [0025] 图 19 示出电源；
- [0026] 图 20 示出用于导致在沿不同轴的运动之间的耦合的座位的支架；
- [0027] 图 21 示出被修改以适应沿不同轴的运动耦合的控制系统；
- [0028] 图 22 示出力偏压消除器和垂直执行器；
- [0029] 图 23A 和图 24A 是座位的侧视图；
- [0030] 图 23B 和图 24B 是示出隔离效果的图表；
- [0031] 图 25 是万向接头枢轴的透视图；
- [0032] 图 26 是示出相位滞后的图表；以及
- [0033] 图 27 是示出频率范围的分隔的图表。

具体实施方式

[0034] 主动悬挂的设备包括耦合到一个或多个主动悬挂元件的座位或其他平台，每个主动悬挂元件提供沿轴方向的主动悬挂。在一些情况下，使被动悬挂元件与沿一个或多个轴的主动悬挂元件协作是有用的，尽管这不是必需的。在这种情况下，主动悬挂元件可以与被动悬挂元件串行或并行安装。

[0035] 在以下描述中，多处提到设备的位置和运动。应该理解，为了便于以下根据所公开的实施方式的论述，“位置”表示设备相对于交通工具的位置，“运动”表示设备相对于惯性参考系的运动。因此，提及的位置信号指的是携带关于设备相对于交通工具的位置的信息的信号。提及的运动信号指的是携带关于设备相对于惯性参考系的运动（例如加速）的信息的信号。

[0036] 以下描述涉及的实施方式中，设备旨在沿笛卡儿坐标系中三个坐标轴中任何一个或多个平移。然而，控制系统不需要任何特定坐标系用于其操作。例如，设备可以配置用于

沿两个轴中任何一个或多个平移。此外,设备可以配置用于沿非正交的以及正交的一个或多个轴平移。

[0037] 以下描述的控制系統不限于设备平移的控制。控制系統还可以用于控制旋转运动,例如俯仰、侧倾或侧滑。或者,控制系統可以用于控制旋转和平移运动的组合。

[0038] 图 1 示出主动悬挂的设备 10,该设备 10 具有垂直主动悬挂元件 12,用于影响(例如抑制)设备 16 沿垂直轴 z 的运动;以及纵向主动悬挂元件 14,用于影响设备 16 沿纵轴 y 的运动。设备 16 沿横轴 x 的运动由被动悬挂元件 18 影响,例如基于弹簧或弹簧/减震器的系統。在设备 16 包括座位的情况下,如图 1 所示情况下,包括用于抑制纵向运动的纵向主动悬挂元件 14 与包括纯粹被动悬挂相对比是特别有用的,这是因为其允许当对外部环境施力时座位保持静止。这种特征是有用之处在于例如防止座位随着下压脚踏板而向后运动。

[0039] 如在本描述中使用的,主动悬挂是包括作为其主要部分的执行器的悬挂。这种执行器能够生成其大小和方向可以独立于悬挂的位置和运动而得到控制的力。在一些实施方式中,执行器是线性的或旋转的,单相或多相的电磁执行器或电磁马达。

[0040] 术语“设备”意思是包括接收控制信号并且其位置和运动将被控制的系統。设备可以包括座位、乘客、任何与座位相关联的夹具、座位的支承结构、电力电子、以及主动和/或被动悬挂元件的数学模型,使得那些元件影响将被控制的系統的动态特性。

[0041] 主动悬挂的设备可用于各种应用中。例如,主动悬挂的设备可以是用于任何移动交通工具中的发动机架、船上的平台、座位、床、或驾驶室,交通工具的例子有汽车、卡车、船或其他水运工具、火车、公共汽车、旅行车、救护车、拖拉机、载重拖车、农业机械、施工机械、武器平台、飞机、直升机或其他飞行器、个人运输设备例如轮椅或婴儿车。主动悬挂的设备的其他实例包括机床隔离台、干涉仪工作台、光蚀刻工作台等。

[0042] 设备完全不需要包括座位。例如,它可以是用于睡觉的床,例如那些在卡车驾驶室中或在火车的卧车中找到的。此外,设备不需要运载人。例如,存在相当易碎的货物(例如瓷器或水晶)或相当易爆的货物(炸药),这两种货物通常非常仔细地运输。主动悬挂的设备可以提供适当的方法来运输这种货物。

[0043] 此外,设备可以覆盖大量面积。例如,在豪华游轮上,其可以用于理发店或晕船恢复休息室,其即使在轮船俯仰和侧倾时也保持稳定。这种设备可以使人即使在海上的暴风雨期间也能够享受近身修面的益处。

[0044] 无论是主动的还是被动的每个悬挂元件抑制沿至少一个轴的运动。在一些实施方式中,所有轴可以设置有主动悬挂元件,这样不需要被动悬挂元件。然而,其他实施例包括这些:一个轴,优选地是垂直轴,设置有主动悬挂;以及垂直轴之外的轴设置有被动悬挂元件。另一选择是设置一个轴,优选地是横轴,具有被动悬挂,并且设置横轴之外的轴具有主动悬挂。在其他实施方式中,控制旋转运动,例如俯仰、侧倾和侧滑。在这种情况下,主动悬挂可以配置用于促使设备俯仰、侧倾、侧滑、或其任意组合。

[0045] 缺乏主动悬挂的轴完全不需要设置有被动悬挂。然而,如果在那些轴中没有被动悬挂,乘客可能感到不舒适。出于这个原因,期望提供一个或多个具有主动和被动悬挂两者的轴。在这种情况下,主动和被动悬挂可以串行放置并且主动悬挂处于被动悬挂之下,如图 2 所示,或者在被动悬挂之上(未示出)。可选地,主动和被动悬挂可以并行放置,如图 3 所

示。

[0046] 在一些实施方式中,主动悬挂可以开启和关闭,不确定地或按照时间,一次对于所有轴或挨个轴地。在一些情况下,提供与主动悬挂元件相关联的故障保险系统是有用的,用于如果与该轴相关联的主动悬挂元件出现故障,阻尼设备沿该轴的运动。

[0047] 可选地,如果主动和被动悬挂串行,可以切断给主动悬挂的电力。在这种情况下,可以夹住与主动悬挂相关联的任何移动部分。一旦夹住主动悬挂的移动部分,将只有被动悬挂影响设备运动。在其他情况下,主动悬挂的移动部分保持自由以随被动悬挂元件的动作而移动。

[0048] 垂直主动悬挂元件 12 包括:垂直加速度计 20;垂直位置传感器 24;以及垂直执行器 28,在所示实施方式中,其与垂直位置传感器 24 并行并优选地位于尽可能接近垂直加速度计 20。类似地,纵向主动悬挂元件 14 包括:纵向加速度计 22;纵向位置传感器 26;以及纵向执行器 30,其与纵向位置传感器 26 并行,并优选地位于尽可能接近纵向加速度计 22。

[0049] 可用于主动悬挂元件 12、14 的执行器 28、30 包括单相或多相电磁执行器,例如三相线性执行器、单相线性执行器、旋转执行器和可变磁阻执行器。一种适合的执行器是电磁线性执行器,例如在美国专利号 4,981,309 中公开的,其内容在此并入作为参考。

[0050] 可以使用任何具有足够分辨率和精度的位置传感器 24、26。合适的位置传感器 24、26 的实例包括具有电位计的传感器、使用霍尔效应的传感器、以及具有磁致伸缩传感器的传感器。具有电位计的位置传感器的实例包括来自德国 Ostfildern 的 Novotechnik 公司的传感器。可以用于主动悬挂元件的其他位置传感器 24、26 包括具有编码器的传感器,该编码器具有限位开关用于确定绝对位置。这种类型的位置传感器的变形也可以用于当固定到该参考系的传感器可用时得出相对于参考系的加速度。合适的加速度计 20 的实例包括基于 MEM(微电机)的加速度计,例如由纽约州伊萨卡的 Kionix 公司制造的 KXM60 系列中的那些。

[0051] 为了帮助抑制其垂直运动,主动悬挂的设备 10 包括用于移除执行器命令力信号中的偏压力的元件,使得执行器经历零平均值的负载。在一些实施方式中,该元件具有可变低刚度弹簧的动态特征。低刚度弹簧特征确保执行器在其试图执行主动隔离时不与弹簧“对抗”。这样降低了功率消耗。这种元件,将称为“力偏压消除器系统”,可以实现为具有相关联的容器的汽缸,如图 14 所示。力偏压消除器系统提供偏压力,从而减轻执行器提供该力。这种偏压可用由例如设备 16 的重量引起。因为由力偏压消除器系统提供的偏压力,垂直执行器 28 仅需要抑制来自预定平衡位置的偏移。在优选实施方式中,汽缸和相关联的容器配置为使得执行器维持零平均值负载。如下所述,力偏压消除器系统还可用提供具有或不具有附加阻尼的被动悬挂。

[0052] 图 4 中示出的主动悬挂的设备 16 的另一实施方式提供了单个主动悬挂元件 34,其定向为抑制设备 16 沿垂直轴的运动。在这种情况下的主动悬挂元件 34 与多轴被动悬挂元件 36 串行安装。如图 4 所示,多轴被动悬挂元件 36 安装于主动悬挂元件 34 与设备 16 之间。然而,被动悬挂元件 36 也可用安装于设备 16 与交通工具地板 37 之间,如图 5 所示。

[0053] 如图 6 所示,设备 16 可以包括座位 40 及其乘客之外的各种特征或结构。这些附加特征或结构是通过相对于设备 16 保持稳定而相当有益的类型。示例性结构包括水杯架 42,其通常保持易受由交通工具的随机加速引起的溢出影响的饮料、写字台、数据输入/检

索设备、烟灰缸或其他容器 44、诸如导航显示器的显示器、以及控制器 47，特别是不要直接机械联动到交通工具的控制器。示范性控制器包括用于重型装备的操作的电子控制器，以及用于制动和加速的诸如踏板或控制杆 (lever) 的控制器。尽管示出附加于设备 16 的特征或结构，应该注意，特征或结构可以离设备 16 远程地设置，但“隶属于”设备 16 的运动。

[0054] 图 1 和图 4-7 所示的主动悬挂的设备 16 包括基座 46，其配置为螺栓安装到在机动车的各种构造和模型中找到的标准螺栓模式中。然而，主动悬挂的设备 16 可以由各种支持结构中任何一种来支持，包括图 7 所示的剪式机构 51、改进的剪式机构、四杆联动机构、以及改进的四杆联动机构，当执行器是执行器行程与座位行程之比小于一的执行器时使用上述机构。此外，执行器本身可以设计为支持结构的一部分。

[0055] 主动悬挂元件 12、14 与控制系统 48 进行数据通信，如图 8 中详细示出。控制系统 48 从传感器 24、26 接收数据信号，例如设备加速度 a_n 以及设备 16 相对于交通工具的位置 p_r 。作为回应，控制系统 48 通过控制器 49 提供控制信号 u_r ，用于使各执行器 28、30 (参见图 1) 施加力，该力用于：使设备 16 恢复到平衡位置；以及最小化设备 16 经历的加速。数据信号可以表示设备 16 的位置和加速度，以及指示设备 16 的特性的数据。与设备 16 通信的力偏压消除器模块 60 从执行器力控制信号 u_r 中移除偏压，以维持对执行器的零平均值负载。

[0056] 实践中，实际设备 16 的有关特征可能不被准确知道。因此，通常，任何控制器 49 的设计以及由该控制器 49 输出的所得控制信号 (u_r) 将基于与那些特征有关的假定。结果，用于控制实际设备 16 的控制信号可能不能实现预期结果。因此，控制系统 48 估计关于实际设备 16 的假定中的误差并补偿这些误差。在一些实施方式中，例如下面所述，该估计和补偿利用参考模型。

[0057] 图 9 示出示范性控制系统 48，其中参考模型包括标称设备的数学参考模型 50，形式为标称设备对复合频率输入 s 的响应 $P_n(s)$ 。为了表达简洁，该标称设备的数学模型 50 将简称为“标称设备 50”。标称设备的响应 $P_n(s)$ 与指示实际设备的位置和运动的数据一起由隔振模块 52 用来计算标称控制信号 u_n 。

[0058] 因此标称设备 50 是用于实际设备 16 的参考模型。这种模型可以定义为包括一个或多个参数，所述参数包括：期望性能特征、频率响应、极点/零点、或其任意组合。例如，在包括交通工具座位的实际设备 16 的情况下，表示标称驱动器重量的参数可以定义为大量有代表性的驱动器的平均重量。

[0059] 各种方法可用于实现隔振模块 52。例如，图 10 示出包括位置和加速度反馈信号的隔振模块 52。在一些实施中，具有位置反馈回路的位置控制器采用相对位置信号 p_r 作为输入并促使实际设备 16 维持预定平衡位置 r 。在一些情况下，平衡位置可以对应于执行器行程的中点。在其他实施中，具有加速度反馈回路的加速度控制器采用加速度信号 a_r 作为输入并控制由实际设备 16 经历的加速度。

[0060] 为了便于论述，以下描述基于双回路控制结构。然而，通常，控制器使用实际设备 16 的位置和加速度两者作为输入并提供控制信号作为输出。该实施不需要是双回路控制器结构。例如，控制器可以具有单回路。其他实施方式包括具有 $2n$ 个输入和 n 个输出的控制器，其中 n 是主动控制的轴的数量。

[0061] 位置回路的带宽可以基于乘客的不舒适感觉来设计。这随着将被控制的实际设备 16 的运动所沿的特定轴而变化。例如，大多数乘客相对与前后方向而言能够容忍更大的垂

直方向的振动。此外,在前后方向上的频谱通常比垂直方向上的频谱具有更大量的高频成分。因此,在一些实施方式中,用于抑制垂直方向振动的位置回路比用于抑制水平方向振动的位置回路具有更小带宽。当主动控制多于一个轴时,用于每个主动轴的位置回路具有适合于适应沿该轴的振动特征的带宽。

[0062] 在图 10 所示的实施中,从设备 16 的期望平衡位置 r 减去表示在实际设备 16 与交通工具的框架之间的相对位移的测量的位置信号 p_r 。提供所得的差作为到隔振模块 52 的输入。从期望加速度减去测量的加速度信号 a_r ,该期望加速度在所实施方式为零加速度。提供所得的差作为到隔振模块 52 的输入。隔振模块 52 的输出是标称控制信号 u_n 。合适的隔振模块 52 包括在美国专利 3,701,499 和 6,460,803 中描述的那些,其内容在此并入作为参考。

[0063] 在一些情况下,期望在主动地控制设备 16 时改变实际设备 16 的期望平衡位置 r 。例如,当实际设备 16 包括座位时,期望调节座位高度以适应不同乘客。这可以通过改变期望平衡位置 r 来实现。对于图 9 中示出的控制系统 48,期望平衡位置 r 的改变将产生控制信号 u_r 中的偏压力分量。对于该偏压力分量的需要由力偏压消除器模块 60 移除。

[0064] 如上所述,隔振模块 52 生成标称控制信号,其将用于控制标称设备 50 的运动,如果该标称设备 50 经历由测量的位置和加速度信号表示的一定干扰的话。为了使隔振模块 52 生成标称控制信号,提供指示这些干扰的信号 a_r 、 p_r 作为到隔振模块 52 的输入。然而,通常,标称设备 50 具有不同于实际设备 16 的动态特征。因此,隔振模块 52 的输出通常将不是最优的用于控制经受那些相同干扰的实际设备 16 的运动。

[0065] 然而,在一些情况下,标称设备 50 和实际设备 16 具有足够类似的动态特征,使得这里称为“实际控制信号”的用于控制实际设备 16 的控制信号类似于标称控制信号。

[0066] 重要的是注意到,不存在经历任何真实的物理移动的真实标称设备 50。存在的是标称设备的模型。该模型被选择以类似于实际设备 16 可能如何响应的方式来响应。

[0067] 实际上,控制系统 48 使用标称设备 50 来模拟实际设备 16 对控制信号的响应。由其自由处理,控制系统 48 具有标称设备 50 对控制信号的假设响应以及实际设备 16 对该控制信号的真实测量的响应。基于在假设响应与真实测量响应之间的差别,控制系统 48 调节控制信号。

[0068] 为了补偿在实际设备 16 与标称设备 50 之间的差别,控制系统 48 包括设备估计器 62,其至少部分基于指示有实际设备 16 经历的运动的信号估计该差别。然后设备估计器 62 提供表示该差别的误差信号 $e(s)$ 到设备补偿器 64。然后设备补偿器 64 在将其施加到实际设备 16 之前通过修改该标称控制信号 u_n 来补偿差别。设备估计器 62 和设备补偿器 64 的组合称为“补偿系统 65”。尽管设备估计器 62 和补偿器 64 示出为彼此分离,但这么做仅仅为了示出它们各自的功能。实际上,设备估计器 62 和补偿器 64 的功能可以通过单个硬件元件中具体化的电路或者以软件来执行。

[0069] 本质上,设备补偿器 64 使用误差信号来扰动标称控制信号 u_n 。该扰动的结果是施加到实际设备 16 的实际控制信号 u_r 。如图 11 所示,设备补偿器 64 包括倍增器。然而,设备补偿器 64 还可以包括滤波器。注意到,在此使用的,“实际”指示控制信号将被施加到实际设备 16。其不具有其通常的没有虚部的信号的数学意义。

[0070] 在图 9 中,示出设备估计器 62 为接受各种输入,其中有:实际干扰信号,指示由实

际设备 16 经历的干扰,例如位置和加速度信号 a_r, p_r ;以及标称干扰信号 51,指示由标称控制信号 u_n 控制的标称设备 50 将要经历的对应干扰。可选地,从控制系统 48 外部获得的其他信息可以用于估计差别,如下所述。这些输入表示设备估计器 62 可以用来生成误差信号的潜在信息源。设备估计器 62 的实施方式不需要真实地接收或使用图 9 中示出的所有信息源,但可以代替地接收或使用这些源的子集。

[0071] 补偿器系统 65 的设计的细节取决于将要实现的控制目标。在一个实施方式中,如图 11 所示,补偿系统 65 的控制目标是维持加速开环传递函数的恒定带宽,如由加速开环传递函数的值越过 0dB 线所在频率定义,其与例如由乘客重量引起的任何设备差别无关。补偿系统 65 通过响应于在由实际设备 16 经历的实际加速与由标称设备 50 在相同情况下将要经历的标称加速之间的差别自适应地调节加速回路传递函数的增益来这样做。

[0072] 在这种情况下的合适的补偿系统 65 是模型参考自适应控制器。在这种情况下,设备估计器 62 基于来自实际设备 16 的实际加速度信号 a_r 和表示已经由标称设备 50 经历的加速的标称加速度信号 u_n 生成误差信号 $e(s)$ 。在这种情况下的设备补偿器 64 是倍增器,其用误差信号 e 乘以标称控制信号 u_n 以获得实际控制信号 u_r 。

[0073] 如图 12 所示,使用模型参考自适应控制器实现的补偿系统 65 包括第一滤波器 66,其过滤标称设备 50 将在相同情况下经历的标称加速度 a_n ;以及第二过滤器 68,其过滤由实际设备 16 经历的真实加速度 a_r 。当使用标称控制信号 u_n 作为输入时获得标称加速度 a_n 作为标称设备 50 的输出。

[0074] 第一滤波器 66 的输出是过滤的标称加速度 a_{fn} ,第二过滤器 68 的输出是过滤的实际加速度 a_{fr} 。第一和第二过滤器 66、68 集中心于期望的跨越频率(即,0dB 频率)。

[0075] 在减法器 70 从过滤的实际加速度减去过过滤的标称加速度以生成误差信号。该误差信号可以进一步以各种方法处理以最小化指示误差 e 的一些量。

[0076] 在图 12 所示的实施方式中,将被最小化的表示误差的量是误差 e 的最小均方(LMS)。这是通过在倍增器 72 用过滤的标称加速度 a_{fn} 乘误差信号来实现。该操作的结果是补偿信号的导数,然后该结果被提供到积分器 74。然后积分器 74 的输出乘以标称控制信号以生成实际控制信号。

[0077] 补偿系统 65 的可选特征是使得积分器 74 在某些特殊情况下提供单位输出。在这些特殊情况下,当积分器 74 的输出乘以标称控制信号时,标称控制信号将保持不变。因此,实际控制信号将与标称控制信号相同。示例性特殊情况可以包括检测到标称控制信号将使执行器施加很小的力(处于摩擦力的级别)。其他特殊情况包括检测到加速度低于阈值,或其任意组合。

[0078] 图 12 示出补偿系统 65 的特殊实施方式,该补偿系统仅补偿许多因素中的一个,在这种情况下是实际设备 16 的动态特性的改变。这种改变例如可以起因于乘客重量的差别,该差别可以导致在实际设备 16 与标称设备 50 的动态特性之间的差别。然而,补偿系统 65 可以设计为补偿其他因素。一个这种因素包括电力电子设备参数的漂移。

[0079] 控制系统 48 是使用连续时间信号的模拟系统。然而,控制系统 48 也可以以离散时间来实现,在这种情况下积分器 74 变成求和模块,并且低通滤波器 66、68 变成适当限定的数字滤波器。

[0080] 如上所述,抑制沿垂直方向的运动的垂直主动悬挂元件 12 包括垂直执行器 28,其

施加维持设备 16 在平衡垂直位置所需的力。然而,在垂直方向,设备 16 恒定受到重力。结果,执行器 28 消耗相当多的能量仅用来支持设备 16 的重量。

[0081] 在一个实施中,提供力偏压消除器系统来沿垂直方向施加偏压力,其足以抵消实际控制信号 u_r 中的力偏压分量,从而维持对于垂直执行器 28 的零平均值负载。通过由此可用的力偏压消除器系统,使垂直执行器 28 免于必须施加仅用于在其平衡位置保持设备 16 的力。代替地,垂直执行器 28 仅需要施加用于补偿从平衡位置的短暂偏移的力。

[0082] 如上所述的力偏压消除器系统不是严格必要的。原则上,可以仅使得垂直执行器 28 施加合适的偏压力。例如如果室温超导体可用于运载生成这种力所需的电流,那么这种配置可能是实用的。然而,对于已知的电磁执行器,支持设备 16 所需的电路将是不适意地大并将生成相当多的废热。

[0083] 力偏压消除器系统可以是较简单的,例如可调弹簧或具有低刚度可调弹簧的机械特性的设备。

[0084] 合适的力偏压消除器系统优选地工作于无论交通工具开启与否时。这将使得交通工具的乘客能够在所有电力关闭时保持舒适就座。这种特征对于安全性也是重要的。在行进于公路速度的汽车中,如果电源的丧失后面紧接着所有座位的位置的突然下降,则这可能令人不安的。

[0085] 为了提供对这种力偏压消除器系统的控制,控制系统 48 还包括力偏压消除器模块 60(参见图 11),其功能是使得力偏压消除器系统在各种变化情况下提供合适的偏压力。如图 9 所示,力偏压消除器模块 60 接收来自实际设备 16 的加速度和位置数据以及来自补偿系统 65 的实际控制信号 u_r 。基于该数据,力偏压消除器模块 60 提供偏压控制信号到力偏压消除器系统,如下结合图 13 所述。

[0086] 如下所述,主动悬挂系统配置为以多种模式操作:安全(被动/故障保险)模式、主动(力偏压消除)模式、和缓冲块模式。如图 13 所示,通过力偏压消除器模块 60 或单独故障保险系统(参见以下细节),系统首先检测触发事件的发生。触发事件可用响应于以指示异常状态的设备 16 的特征的任何改变而发生。示例性触发事件包括主动悬挂元件的故障、电力电缆的切断、或传感器故障(步骤 76)。一旦检测到触发事件,力偏压消除器模块 60 使力偏压消除器系统 86 在称为“被动模式”、“安全模式”或“故障保险模式”的模式下工作(步骤 78)。在该模式中,通过力偏压消除器模块 60 调节设备 16 的位置,如下结合图 14 和 15 所述。在一些实施方式中,切换到“被动模式”操作也可以实现为用户可选特征。主动悬挂元件是否正在工作可以容易地通过例如检测提供到这些主动悬挂元件的功率来确定。如果系统确定主动悬挂元件当前正在工作,那么其使用来自实际设备 16 的加速度和位置信号来确定垂直执行器 28 是否可能达到其行程的终端,即垂直执行器 28 是否可能撞击其两个缓冲块中的一个(步骤 80)。如果是,则力偏压消除器模块 60 使力偏压消除器系统工作于“缓冲块”模式(步骤 82)。否则,力偏压消除器模块 60 使力偏压消除器系统工作于正常模式或“主动模式”(步骤 84),如下结合图 14 和 15 所述,其中设备 16 的位置通过控制一个或多个执行器来调节。

[0087] 示例性力偏压消除器系统 86 是气动力偏压消除器(图 14 所示),其包括汽缸 88 和支持设备 16 于其上的匹配活塞 90。在活塞头以下的汽缸容积,即“下汽缸内腔”通过供给阀 92 连接到压缩气体源(未示出)或者通过放气阀 94 连接到周围环境空气。可选地,

下汽缸内腔可以通过操作三路手动调节阀 96 而连接到压缩气体源（未示出）或周围环境空气。压缩空气源可以是容易获得的板载气源，例如通过泵维持在高压的压缩气体的储存器。座位结构的空心部分也可以用作储气器，从而使储气器合并或结合到座位结构本身中。可选地，力偏压消除器系统可以是液压系统。

[0088] 汽缸 88 可以包括响应于气压和设备重量而移动的活塞 90。或者，气缸 88 可以与橡胶轮胎膨胀和压缩非常相同的方式而响应于压力和重量进行膨胀和压缩。与气缸 88 流体连接的膨胀室 98 可以是外部储气器。可选地，膨胀室 98 可以构造到座位结构本身中，从而节约交通工具内部空间。

[0089] 在正常模式或“主动模式”中，力偏压消除器模块 60 基于例如图 11 所示控制信号 u_r 来确定压力是否需要增加或减少。如果压力需要增加，则力偏压消除器模块 60 使供给阀 92 开启并使放气阀 94 关闭，从而使压缩气体注入下汽缸内腔。相反，如果压力需要减少，则控制器使供给阀 92 关闭并使放气阀 94 打开。这样使高压气体从下汽缸内腔放出。

[0090] 图 15 示出通过使用控制信号 u_r 作为对以主动模式操作的力偏压消除器模块 60 的输入来检测和移除实际控制信号的偏压分量的过程。实际控制信号 u_r 首先通过低通滤波器 100 以移除高频变化，这些高频变化很可能是企图消除随机加速度的结果。因此低通滤波器 100 隔离低频变化，这些低频变化很可能是设备 16 的真实重量改变的结果。合适的低通滤波器 100 是具有大约 0.5Hz 级别的拐角频率（corner frequency）的滤波器。

[0091] 然后力偏压消除器模块 60 使用实际控制信号的低频分量的符号或相位角来确定是否施加偏压力来抵消 u_r 中的偏压信号分量。对于图 15 的实施，力偏压消除器模块 60 采用实际控制信号 u_r 作为输入，确定是否需要增加或减少针对活塞 90 的压力。然后力偏压消除器模块 60 发送适当的阀动信号 V 到控制供给阀 92 的供给阀继电器（未示出）和控制放气阀 94 的放气阀继电器（未示出）。如果压力需要增加，则力偏压消除器模块 60 发送信号到供给阀继电器以打开供给阀 92 以及发送信号到放气阀继电器以关闭放气阀 94。相反，如果压力需要减少，则力偏压消除器模块 60 发送阀动信号 V 到放气阀继电器以打开放气阀 94 以及发送信号到供给阀继电器以关闭供给阀 92。在一些实施方式中，具有“间隙”（滞后）的继电器防止开关阀在继电器的设定值周围颤动。

[0092] 力偏压消除器系统 86 还包括上下缓冲块阀 102、104，其用于“缓冲块”模式，以抵制在垂直执行器 28 不可能防止设备 16 突然到达其行程的终端的情况下的运动。

[0093] 上缓冲块阀 102 在活塞头以上汽缸容积（“上汽缸内腔”）与周围环境空气之间提供路径。在正常操作中，该上缓冲块阀 102 保持打开，使得空气可以自由进出上汽缸内腔。然而，如果力偏压消除器模块 60 检测到垂直执行器 28 不能阻止设备 16 到达其行程的顶部，则其关闭上缓冲块阀 102。这样防止空气随着活塞 90 向上移动而从上汽缸内腔溢出。结果，随着活塞 90 向上行进，空气被压缩，从而施加趋向于进一步抵抗活塞 90 向上运动的力（从而抵抗设备 16 向上运动）。

[0094] 下缓冲块阀 104 在下汽缸内腔与周围环境空气或压缩空气供给之间提供通路，这要根据放气阀 94 和供给阀 92 中哪个被打开哪个被关闭。在正常操作中，下缓冲块阀 104 保持打开。这样允许力偏压消除器模块 60 通过选择性地打开和关闭放气阀 94 和供给阀 92 来自由控制设备高度。然而，如果力偏压消除器模块 60 检测到垂直执行器 28 不能阻止设备 16 到达其行程的底部，则其关闭下缓冲块阀 104。这样防止空气随着活塞 90 向下移动而

从下气缸内腔溢出,从而施加趋向于进一步抵抗活塞 90 向下运动的力(从而抵抗设备 16 向下运动)。

[0095] 当力偏压消除器模块 60 确定主动悬挂元件已失效时,其发送阀动信号 V 以通过同时关闭上下缓冲块阀 102、104 来封闭上下内腔。这使得力偏压消除器系统 86 工作于“安全模式”,该模式是力偏压消除器系统 86 作为弹簧工作的模式。当工作于安全模式时,气体进入或离开汽缸 88 的唯一途径是通过三路手动调节阀 96。三路手动调节阀 96 具有:关闭位置,其中没有空气进入或离开下内腔;放气位置,其中下内腔连接到周围环境空气;以及填充位置,其中下内腔连接到压缩空气源(未示出)。

[0096] 在安全模式下,通过操作调节阀来控制设备 16 的水平。为了升高设备 16,使调节阀 96 将压缩空气供给连接到下汽缸内腔。为了降低设备 16,使调节阀 96 将周围环境空气连接到下汽缸内腔。当设备 16 处于理想位置时,使调节阀 96 封闭下汽缸内腔。

[0097] 下表概括了在各种操作模式期间图 14 中所示各种阀的配置:

[0098]

	安全模式	力偏压消除模式	上缓冲块	下缓冲块
下缓冲块阀 104	关	开	开	关
放气阀 94	开或关	打开以降低 关闭以上升	关	关
供给阀 92	关	打开以上升 关闭以降低	关	关
上缓冲块阀 102	关	开	关	开
3 路阀 96	3 路	关	关	开

[0099] 如上所述,在力偏压消除模式期间,压缩气体源可以与汽缸 88 的下内腔连接。如果垂直执行器 28 需要暂时降低设备 16,其可能这么做是困难的,因为压缩气体源将抵抗设备 16 的向下运动。为了使垂直执行器 28 更容易降低设备 16,力偏压消除器系统包括设置在供给阀 86 与下缓冲块阀 104 之间的膨胀室 98。膨胀室 98 作为弱弹簧,使得如果垂直执行器 28 必须降低设备 16,其将遇到来自压缩气体源的最小抵抗。

[0100] 当设备参数突然改变时,例如当乘客坐下或站起时,或者当货物移除或添加时,执行器可能需要施加的最大力可能减少,从而减少功率使用。这是通过使控制系统等待力偏压消除器系统适应新负载来实现的。在力偏压消除器系统已经适应了之后,可以使执行器施加正常操作所需的减少的力。例如,当就座的乘客站起时,力偏压消除器系统在被实施为空气弹簧时将很快卸除压力。一旦其完成卸除压力,使执行器施加对当前无乘坐的座位进行主动悬挂所需的任何力。结果,当乘客站起时座位高度保持近似恒定。相反,当乘客站起时,由传统弹簧支持的座位将弹回到未加载的位置。

[0101] 结合图 14 公开的力偏压消除器系统 86 是气动系统,其实施气动逻辑来执行其操作。然而,其他类型的力偏压消除器系统,例如液压系统,也可以用于施加偏压力到设备 16。

[0102] 以上所述的气动力偏压消除器 86 可用于实现直接测量设备 16 的质量的设备估计

器 62 的实施方式。在这种实施方式中,如图 16 所示,偏压由压力传感器 108 测量,并且来自偏压的偏移在合适过滤之后指示设备 16 的重量。偏压是由支持标称设备 50 产生的压力。该压力可以在工厂中或在随后的座位安装时被测量,并可以被编程到设备估计器 62 中。压力传感器 108 测量在气动系统中任意点的压力,在该系统中存在取决于设备 16 的重力的可测量压力。由压力传感器 108 测量的压力然后通过低通滤波器 110 以消除任何抖动。然后结果被提供到设备估计器 62,该估计器 62 确定将用于干扰标称控制信号的误差信号。

[0103] 在图 22 中,垂直执行器 28 位于力偏压消除器 86 的内部 41 内。在其中力偏压消除器 86 包括密封空气弹簧 87 以及垂直执行器 28 包括线性马达 29 的实例中,将线性马达 29 设置在密封空气弹簧内使得线性马达 29、轴承 31 和电子设备 33 与外部环境中的灰尘和碎片隔离。相比于一些其他配置,这种设置需要较少的空间。在一些实施方式中,传感器或其他系统电子设备 33 也存在于密封空气弹簧包绕中。

[0104] 在一些实例中,垂直执行器 28 是线性电磁 (EM) 执行器,其使用通过线圈 137 运载的电流来沿平行于磁结构 35 的线性路径移动磁结构 35。该执行器可以根据美国专利号 4,981,309 来构造。轴承 (bearing) 可以根据 2004 年 6 月 18 日提交的共同未决美国专利申请号 10/871,230。此外,电力电子设备 (未示出) 还可以集成到垂直执行器 28 中以减少电磁干扰。该集成可以例如根据美国专利号 6,926,288 来实现。

[0105] 在一些实例中,用于线性马达 29 的热通道 39 (例如,导热交换器) 跟着从线圈 137 到基座 46 的线性马达外壳。在 2004 年 6 月 17 日提交的共同未决美国专利申请号 10/870,521 中公开了各种可用导热通道。操作中,空气弹簧外壳具有内部容积 41,其响应于随着空气通过基座 46 中的孔 (未示出) 被抽入内部容积 41 或从内部容积 41 消除的电枢 57 (参见图 25) 的运动而变化。

[0106] 垂直执行器 28 施加力到设备 16 (图 23A、24A) 以减少其经历的振动。设备 16 的重心的运动的相位趋向滞后于垂直执行器 28 的运动,如图 26 的实例所示。

[0107] 当垂直执行器 28 的运动基本上不在设备 16 的重心的运动的相位时 (例如,当在两个运动之间的相位角大于 45 度时),垂直执行器 28 趋向于施加外力到设备 16。外力可能包括设备 16 中的弯曲运动或不期望的转矩并且可能降低垂直执行器隔离设备 16 的振动的能力。限制相位滞后的大小到特定角度 (例如 45 度相位角以内) 趋向于强迫外力到可接受的水平。

[0108] 在一些实例中,垂直执行器 28 施加基本上通过设备的重心 281 的驱动力 (图 23A、图 24A)。注意到,设备 16 的重心 281 不需要位于设备上或是设备中的点,并通常取决于设备的物理形状以及设备组件的密度。在这种设置中,较容易控制垂直执行器 28,使得在垂直执行器 28 的运动与设备 16 的重心之间存在基本上小于 45 度相位角滞后。这样提供了隔振的较宽范围。

[0109] 例如,设备 16 可以包括交通工具中其上坐有人的座位。人体器官共振主要发生于 2Hz-20Hz。其垂直执行器 28 基本上从座位重心偏移的座位不趋向于在大约 20Hz 界别的频率被有效隔离。垂直执行器 28 与座位重心 281 的基本对齐扩展了座位与更高频率的有效隔离,特别是在频带 2Hz-20Hz 内。

[0110] 参照图 27,频带 0-20Hz 被分隔频率 204 分成低频部分 200 和高频部分 202。力偏压消除器 86 工作以在低频部分 200 中的频率提供偏压力。这种偏压力可以响应于例如设

备 16 的静态重量来提供。因为偏压力消除器 86 提供的偏压力,垂直执行器 28 仅需要抑制从预定位置的偏移。

[0111] 垂直执行器 28 工作以在高频部分 202 中频率提供偏压力。这种偏压力可以响应于例如改变诸如坑洼、停车带或道路斜坡的道路状况来提供。诸如坑洼或停车带的道路状况突然变化相比诸如坡度的道路状况的逐渐变化趋向于施加更高频振动到座位。响应于较缓和变化(例如与斜坡相关的变化)而提供来自垂直执行器 28 的力通常称为“道路跟踪”。响应于更突然变化而提供来自垂直执行器 28 的力通常称为“隔振”。在一些实例中,高频部分 202 被分成道路跟踪部分 206 和隔振部分 208。例如,道路跟踪部分 206 范围可以从分隔频率 204 到预定频率例如 2Hz。在一些实例中,分隔频率 204 在 1/10Hz 到 1/2Hz 范围中。图 27 示出 1/3Hz 的示例性分隔频率。

[0112] 在图 23A 中,垂直执行器 28 在点 P 枢轴连接到座板 149,其中来自垂直执行器 28 的主动力 491 施加到座板 149。结点 P 例如通过使用轴承保持相对静止。结果,在垂直执行器 28 和座板 149 二者处的弯曲运动(分别以 B 和 C 示出)与来自剪式联动结构 51 的力 F 一起施加到座位。加速度计 43、45 和 47 分别检测地板 492、座板 149 和垂直执行器 28 的振动。

[0113] 图 23B 示出如由加速度计 43、45、47 检测的由地板、座板 149 和垂直执行器 28 经历的振动。在座板图形与垂直执行器图形之间的阴影区域市出由座位上的人经历的隔离益处。隔离益处的获得仅到大约 10Hz。在更高频率,主动座位振动(在某些频率)与地板一样差,如由在座板图形与地板图形之间的各交点 53 所示。

[0114] 图 24A 示出另一主动座位悬挂,其中座位 551 由 4 杆联动 55 支持,并且垂直执行器 28 位于座位的重心 281 之下。垂直执行器 28 的电枢 57 的顶部连接到万向接头枢轴 59,该枢轴 59 附接到座板 149 的底部(参见图 25)。加速度计 43、45 和 47 分别检测地板、座板 149 和垂直执行器 28 中的振动。

[0115] 图 24B 示出如由加速度计 43、45、47 检测的由地板、座板 149 和垂直执行器 28 经历的振动。阴影区域显示由乘客经历的隔离益处,其扩展贯穿 2Hz-20Hz 的范围。

[0116] 参照图 25,电枢 57 位于垂直执行器 28 顶部附近。万向接头枢轴 59 通过螺杆刚性连接到座板 149。电枢 57 通过连接器 63(例如旋转轴承)柔性连接到万向接头枢轴 59。连接使得当垂直执行器 28 上下移动时电枢能够以两个自由度移动。该柔性减少了使支持结构(例如座板 149 或座位)弯曲的危险。在一些实例中,垂直执行器 28 使用其他机械枢轴结构连接到座架 149。这种其他结构可以附加使用或座位上上述连接的代替使用。

[0117] 万向接头枢轴允许较低座位高度,这例如当座位在交通工具中时是有用的。在一些情况下,过度的座位高度使得将垂直执行器 28 定位在座位的重心之下更加困难。

[0118] 尽管 4 杆联动 55 和剪式联动 51 在图 23A 和 24A 中示出,但这些联动不是必需的。可以使用用于悬挂联动和/或垂直执行器 28 的各种构造。对于垂直执行器 28,可以使用具有或不具有集成气袋的 EM 执行器,以及可以使用液压执行器。悬挂联动可以省略。

[0119] 在图 24A 中,由垂直执行器 28 提供的主动力通过座位的重心 281 起作用,但力偏压消除器不需要通过座位的重心起作用,因为,典型地,力偏压消除器补偿在垂直执行器 28 的范围(例如 2Hz-20Hz)之外的低频振动。因此,力偏压消除器的隔离能力不会受到其与垂直执行器 28 的重心之间的距离的显著影响。

[0120] 图 24A 中的座位可以滑动安装在汽车中,以适应不同高度的驾驶者。在一些实例中,座位可以通过使座位相对于垂直执行器 28 和 / 或空气弹簧滑动沿而前后方向移动 +/-3.5 英寸。因此,在一些配置中,垂直执行器 28 不提供通过座位重心的驱动力。然而,即使在接近座位的重心施加驱动力也能提供上述益处。通常,驱动力可以偏离重心并保持上述益处的程度取决于其他系统设计参数,例如座位装配的物理特征,例如其硬度,以及执行器的运动基本上与座位重心的运动同相的程度。例如,如果图 23A 中非常硬的轴承在点 P 将垂直执行器 28 连接到座板 149,那么该配置可以允许垂直执行器 28 位于座位重心与 P 之间,同时当垂直执行器 28 和座位的重心 281 的运动基本上同相时仍在 2Hz-20Hz 之间的频率提供隔离。

[0121] 为了适应不同范围的驾驶者,可以以垂直自由度来安装座位,例如使得其初始高度(当垂直执行器 28 在其顶部行程时从地板到座垫的底部所测量)在 11 英寸-15 英寸范围内,典型地具有 4 英寸的行程。在一些情况下,高度可以成为驾驶者可调的,例如 2 英寸。在这种情况下,座位将具有在 9-13 英寸的高度。通常,座位高度将不超过 15 英寸。

[0122] 省略悬挂联动导致附加优点,基于与联动相关联的消除轴承系统。在图 24A 中,例如,垂直执行器 28 的轴承 31 强制座位基本上在单个维度(垂直)上运动。因此,与悬挂联动系统相关联的附加轴承 65 可以移除。这些轴承系统可能过度强制运动,导致粘结、摩擦等。尽管粘结可以通过在所有冗余系统的端部提供低摩擦、零间隙的枢轴来消除,但这在一些情况中是不理想的。此外,系统中的每个轴承提供更多阻力(摩擦),其对于构造稳定和坚固的控制器是有问题的。因为执行器已经具有轴承 31,所以如果刚度足够,轴承系统可以避免这些问题。

[0123] 已通过使用单个垂直执行器 28 示出了悬挂配置。然而,该配置的益处也可以用通过使用多个执行器(不一定是垂直的)来获得,每个执行器施加力到座位,方式由多个执行器施加的净力如上所述。例如如果其他设计约束条件阻止垂直执行器 28 位于设备 16 的重心附近,则可以采用这种配置。

[0124] 以上描述集中于如图 9 所示的基于参考模型的控制设计。然而,其他实施方式包括图 8 所示通用控制系统,其中控制器可以利用或不利用参考模型通过合适的线性或非线性控制方法来设计。例如,图 9 中的隔振模块可以代替图 8 中的控制器模块 52,而不需要提供标称设备 50、补偿系统 65 或力偏压消除器模块 60。

[0125] 主动悬挂元件(特别是垂直主动悬挂元件 12)中的故障可以导致突然和可能引起警惕性设备位置和运动的改变。为了避免这样,控制系统 48 可以设置有由故障检测器 112 控制的故障保险系统,如图 9 所示。故障保险系统具有连接到执行器的选择性激活的阻尼器。阻尼器可以是单独元件。可选地,阻尼器可以通过改变主动悬挂元件的特征来实现。在正常情况下,阻尼器不起作用并因此不生成阻尼力。然而,如果出现故障的检测器 112 检测到存在特殊情况,则其激活阻尼器,从而引起抵抗设备 16 运动的阻尼力。这样使得设备 16 适度地稳定到下缓冲块。一个这样的结构是如前所述的力偏压消除器系统。在这种情况下,设备 16 将稳定到下缓冲块之上的平衡位置。

[0126] 如图 9 所示,故障检测器 112 提供有指示实际设备 16 的状态的信息。该信息可以包括例如位置信号和加速度信号。基于该信息,故障检测器 112 确定其是否需要阻尼设备 16 的运动。美国专利 4,981,309 中描述了用于与执行器 12 连接的合适的阻尼器,其内容在

此并入作为参考。

[0127] 主动悬挂系统的故障不是激活故障保险系统的唯一原因。可以指示异常状态的设备 16 的特征的任何改变都可以是激活故障保险系统的原因。例如,大于预定阈值的传感器信号或收集指示设备状态的信息的传感器中任何一个中的故障会是激活故障保险系统的原因。传感器或系统故障可以通过下列来检测:注意到这种信号的缺失或波动呈现或者通过提供与设备上的物理约束条件不一致的信息的传感器信号。例如,如果传感器检测到汽车现在以超音速运动,则该传感器的可靠性理所当然地可能出现,在这种情况下将激活故障保险系统。可选地,检测到传感器已达到其可用范围的末端也可以激活故障保险系统。在一些实施方式中,引起从主动模式到故障保险模式或“被动模式”的转换的特殊触发事件也可以实现为用户可选特征。

[0128] 在电磁执行器的情况下,具有线圈的定子围绕其上安装有实际设备 16 的电枢。定子和电枢一起形成“电磁执行器”,电枢的位置可由定子的线圈中的电流控制。在正常操作中,通过线圈的电流生成控制电枢的位置的磁场。一旦检测到故障,线圈的导线倍短路或夹在一起。在这下情况下,楞次定律将用于在线圈中感应电流,其生成趋向于抵抗电枢运动的磁场。结果,电磁执行器发挥阻尼器的功能。

[0129] 图 17 是由故障检测器 112 使用的示例性算法,用于确定在检测传感器故障后是否激活阻尼器。故障检测器 112 监视加速度信号(步骤 114)。如果加速度信号在预选限制内(步骤 116),则故障检测器 112 假定主动悬挂元件是正确操作的。在这些情况下,阻尼器保持不起作用。然后故障检测器 112 等待(步骤 118)并再次检查加速度(步骤 114)。然而,如果故障检测器 112 检测到加速度信号在长于预定持续时间的时间内超出阈值大小(步骤 116),则故障检测器 112 假定主动悬挂出现故障,接着执行补救措施。在这些情况下,故障检测器 112 激活阻尼器(步骤 120)。然后故障检测器 112 停止进一步的执行(步骤 122)直到发生重置。

[0130] 结合图 17 描述的算法仅取决于加速度传感器中的故障检测。然而,其他算法可以使用位置信号、或位置信号与加速度信号的组合、或者任何指示实际设备 16 的状态的信息。用于控制故障保险系统的其他算法使用指示构成主动悬挂和相关组件的各种元件的情况的信息:例如电源、功率放大器、控制器本身等。示例性信息包括到传感器的电偏置信号、以及由执行器生成的电动力。此外,冗余传感器可以用于提高系统可靠性。

[0131] 实际设备控制信号最后用于调节放大器 106 的输出电流,如图 18 所示。该输出电路最后提供到电磁执行器 28。控制信号中的波动导致该输出电流中的波动。

[0132] 在放大器 106 处被调节的电流(图 19 所示)由电源 107 提供。在上述类型的主动悬挂系统中,在平路上的正常操作下,放大器 106 汲取较小量的功率。然而,为了补偿例如路面上的大突起的情况,放大器 106 需要高功率的短脉冲。图 18 示出对于具有偶发坑洞和其他不规则性的典型城市街道的作为时间的函数的所需功率。

[0133] 如图 18 所示,在正常操作中,放大器 106 汲取平均功率。然而,偶然地,放大器 106 短时间需要相当大的功率。为了提供高功率的短脉冲,向放大器 106 提供具有能量存储元件的电源 107 是有用的,该能量存储单元能够提供高功率的短脉冲,而无需在电源(例如电池)上直接汲取。

[0134] 图 19 所示,合适的电源 107 包括 DC/DC 转换器 109,其具有连接到电池 113 的输入

和连接到电容 110 的输出。DC/DC 转换器 109 用于将通常是 12 伏特的电池电压转换为较高输出电压。转换器 109 的附加作用是通过当放大器对电流的需求超过转换器 109 能提供的电流时饱和来限制从电池 113 汲取的电流量。在这些情况下,转换器 109 向放大器 106 呈现为提供饱和电流的恒定电流源。

[0135] 通常,响应于传递功率的转换器的参数(例如输出电流、输入功率)的改变,附加的功率可以通过无源功率源例如电容元件来提供,以满足峰值功率需求。在 2004 年 6 月 18 日提交的美国专利申请号 10/872040 中公开了合适的电源电路,其内容在此并入作为参考。

[0136] 在正常操作中,转换器 109 满足放大器对于电流单独的喜好。当放大器 106 需要比传感器 109 能够提供的更多的电流时,其从与转换器 109 的输出并行连接的电容 110 汲取差额(deficit)。因为仅在较短时间内需要大电流,所以存储在电容 110 中的电荷足以满足放大器 106 的需要。如图 18 所示,因为对于大电流的需要由较长时间段分隔,转换器 109 可以对电容 110 重新充电。

[0137] 与图 19 所示组件相关联的特定数值将取决于与每个应用相关联的细节。这种细节包括平均电流汲取、最大电流汲取、在对于大电流汲取的需求之间的平均时间、放大器 106 的工作电压范围、转换器的饱和电流以及与用于形成电容 110 的电容器或其他能量存储元件的任何配置相关联的寄生电阻。

[0138] 电容 110 不需要由单个电容器提供。在一些情况下,更经济的是将电容器组装到具有合适等效电容 110 以及用于在所需电压降上操作的能力的电路中。例如,电路可以包括许多串行电容器,每个电容器具有小于施加到放大器 106 的电源电压的额定电压。在一个实施方式中,串行设置 62 个电容器以形成所需电容,其中每个电容器具有 17.3 法拉的电容并额定为在 2.5 伏特电压降上工作。

[0139] 如果失灵或不稳定发生,由执行器施加的力可以具有增加很大并长时间保持很大的趋势。长时间维持这种较大力所需功率耗尽电容 110 并使到放大器 106 的电压“萎缩”。这样使得放大器 106 本身失效。结果,在不稳定期间,电源 107 施加功率限制,其足够低使得余热可以很快消散,从而防止对放大器 106 的热损害。以这种方法,如果失灵或不稳定发生,则所示电源 107 限制执行器的功率消耗。在一个实施方式中,如果失灵或不稳定发生,则选择电容器使得所存能量可以消散以使放大器在 55 毫秒内失效。

[0140] 在设备包括座位的这些实施方式中,可能因为存在座垫而引起困难。如上所述,加速度计和位置传感器安装在座位上。因此,加速度计和位置传感器感应座位经历的运动。在这种情况下假定坐在座位上的乘客将经历与座位同样的运动。然而,在大多数情况下,乘客不直接坐在座位上。代替地,乘客坐在座垫上。座垫等同于具有其自己的传递函数的附加被动悬挂元件。

[0141] 实践中,座垫引入具有两个零点的传递函数。这些零点降低加速度回路的增益,从而降低控制系统对在对应于这些零点频率处振动进行抑制的能力。

[0142] 为了解决这个困难,使与两个零点相关联的频率超出加速度回路控制器 5 8 的带宽。这可以通过增加座垫内的弹簧的有效刚性来实现,例如通过将座垫放在刚性衬垫上。

[0143] 控制系统 48 的各种模块的输入和输出至今已经作为标量来看。这是因为对于许多座位装配,需要抑制沿一个轴的振动的力基本上抑制与沿另一轴的振动的力无关。在这

种情况下,设备 16 可以由矩阵传递函数来表征,该矩阵基本上是对角线的并且具有很小的非对角线分量。加速度回路传递函数和位置回路传递函数也可以表征为基本上对角的矩阵。在这些情况下,考虑沿一个轴的振动的抑制而与沿另一轴的振动的抑制无关是合适的。

[0144] 然而,对于特殊类型的座位装配,施加用于抑制沿一个轴的振动的力可以影响同时抑制沿不同轴的运动企图。当是这种情况时,设备传递函数可能不再视为对角矩阵。

[0145] 例如,图 20 示出包括由四杆联动支持的座位的设备 16。很明显的是,座位的向上运动也导致向后运动,其中二者之间的关系取决于座位的垂直位置。

[0146] 在图 21 中,对于各种模块的输入和输出是二维矢量。因此,将被提供到实际设备 16 的控制信号包括用于控制两个不同力执行器的分量。控制信号在施加到实际设备 16 之前被传递至去耦相似性变换矩阵 R。过程的细节可以在由 IEEE 出版的“Control System Handbook”的章节 3.3 “vector spaces”中找到。

[0147] 对于图 20 所示情况,其中耦合是纯运动学的,相似性变换用于去耦运动学交叉耦合的设备。在这种情况下,去耦矩阵的元素是实数值常数。这些元素的值可以直接从考虑支持的几何结构来获得。

[0148] 在其他情况下,在两个方向上的运动之间的耦合包括动态的以及运动学的分量。在这种情况下,去耦矩阵的元素是频率的复数值函数。通常,这种矩阵可以不服从适用于控制器实现的低阶可实现传递函数矩阵。

[0149] 抑制两个方向中的设备振动的另一方法是对加速度回路控制器使用满阵 (fully populated) 控制器矩阵而不是对角矩阵。在这种情况下,加速度回路控制器矩阵的元素被计算使得与加速度回路相关联的闭环矩阵传递函数是对角的或者具有可忽略的非对角元素。

[0150] 其他实施在以下权利要求的范围内。

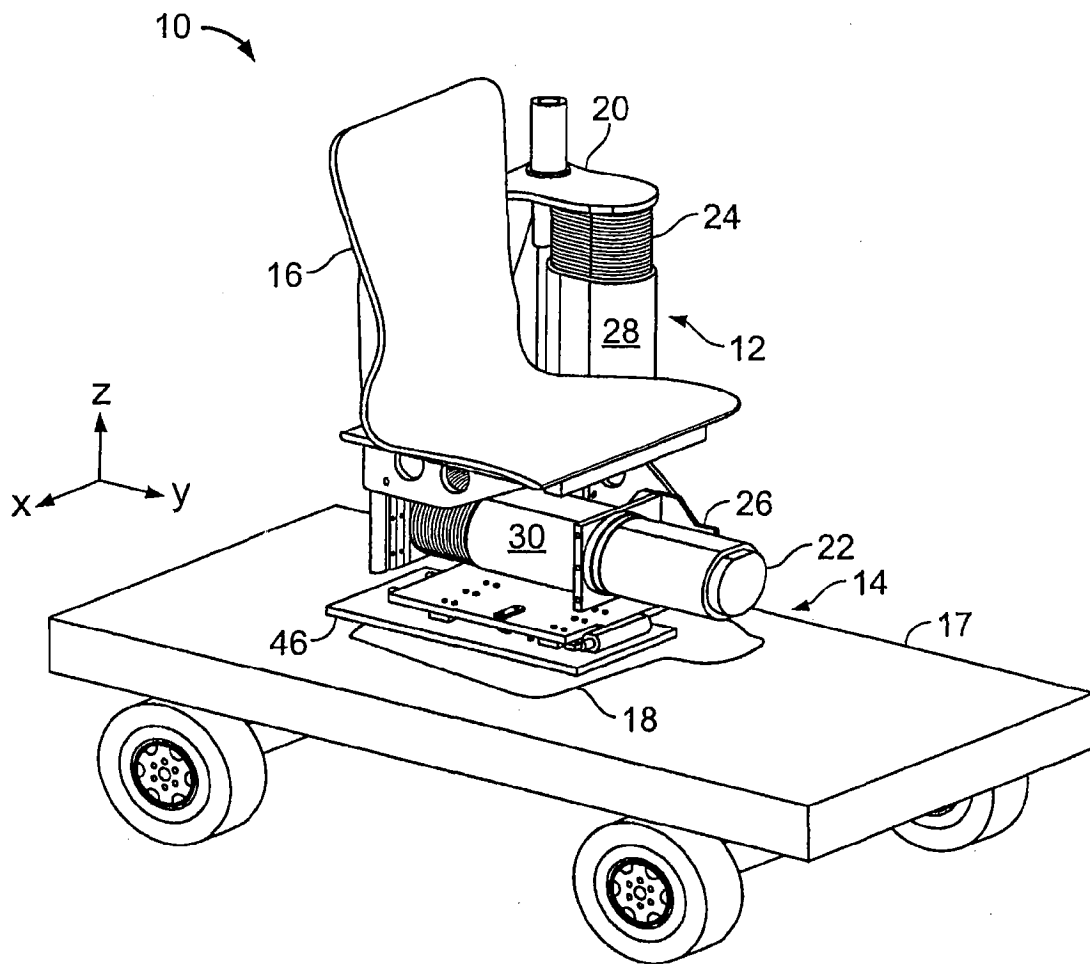


图 1

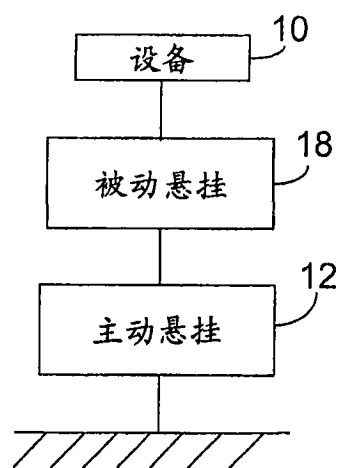


图 2

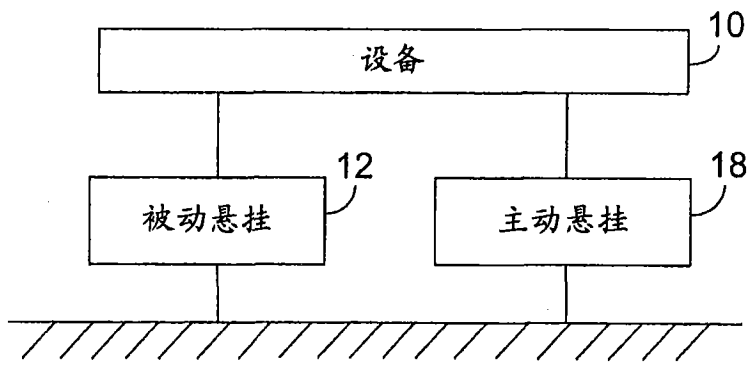


图 3

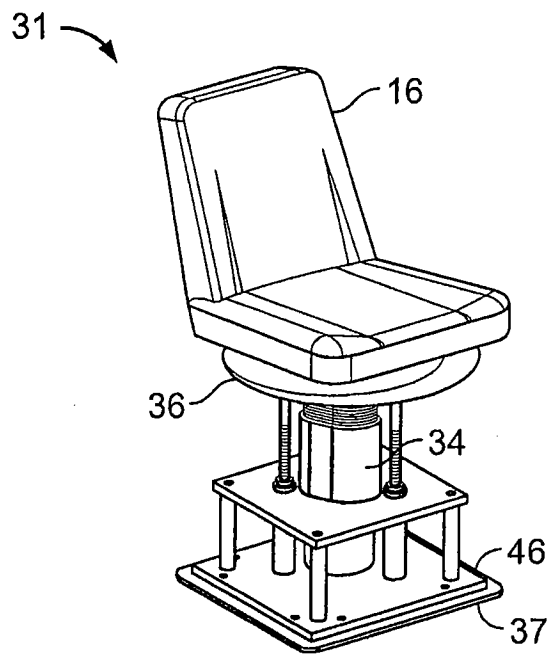


图 4

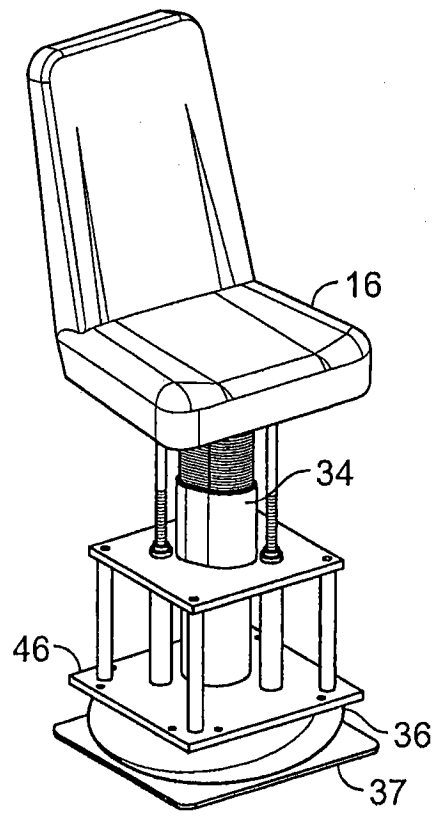


图 5

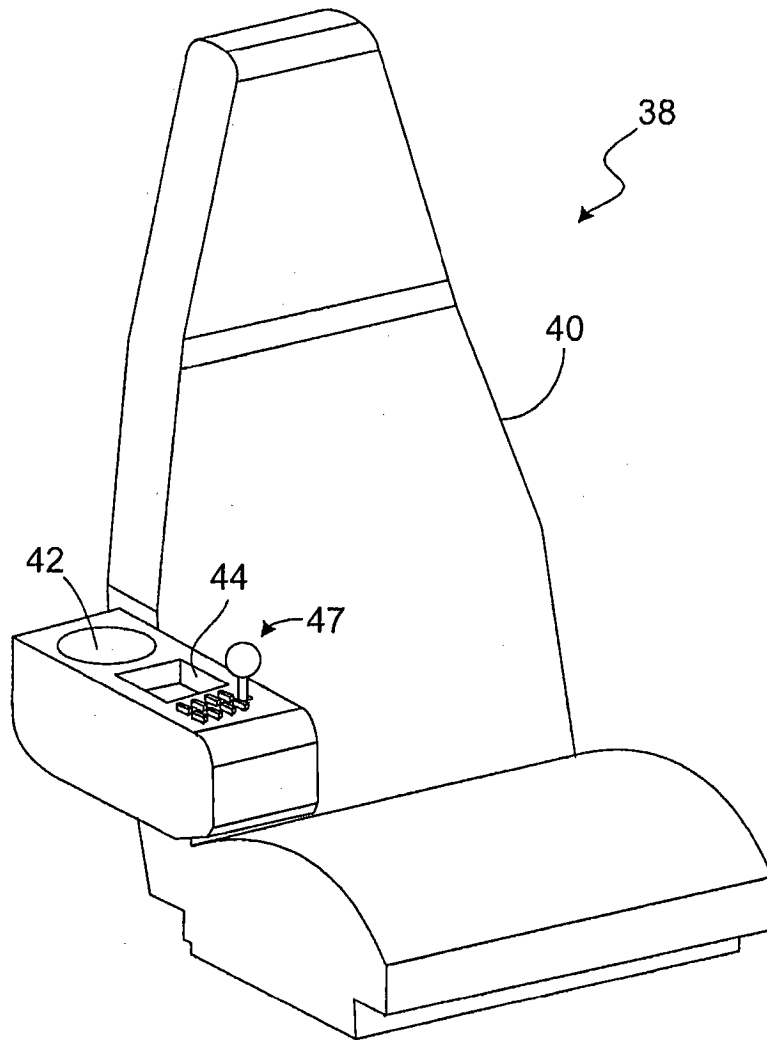


图 6

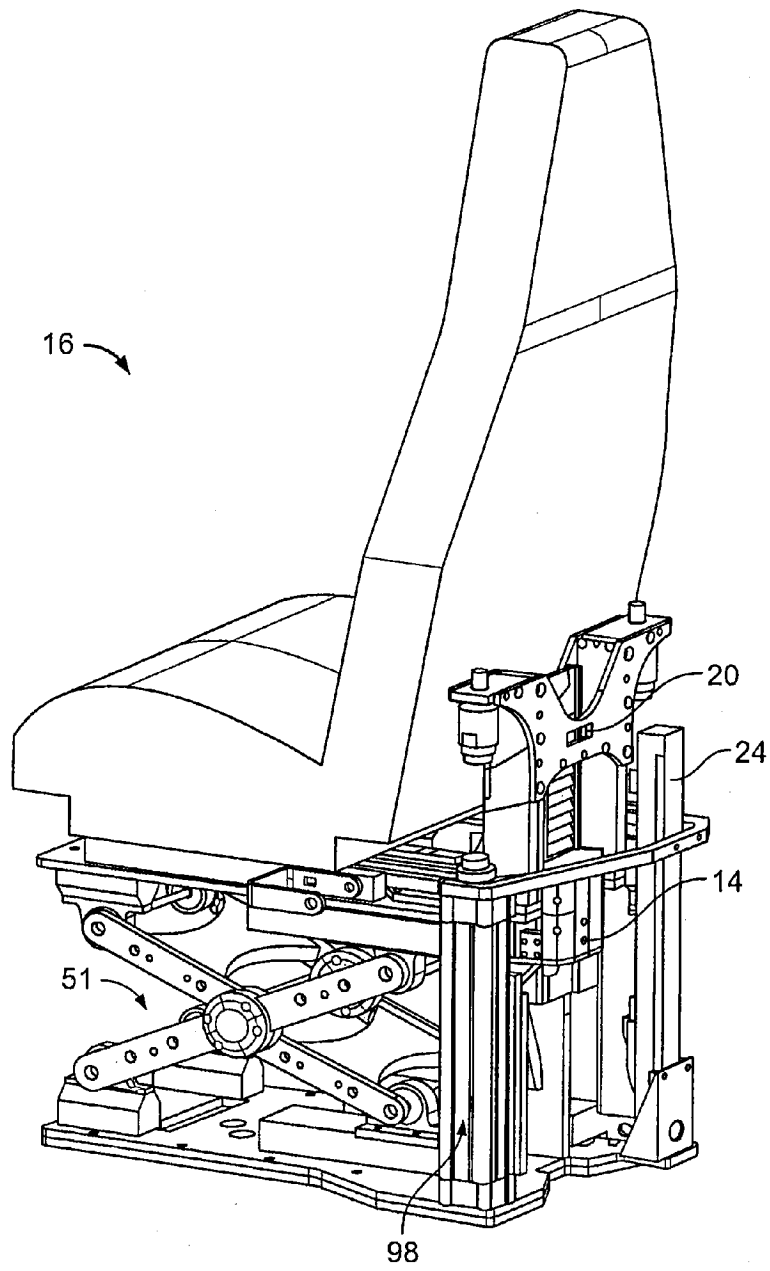


图 7

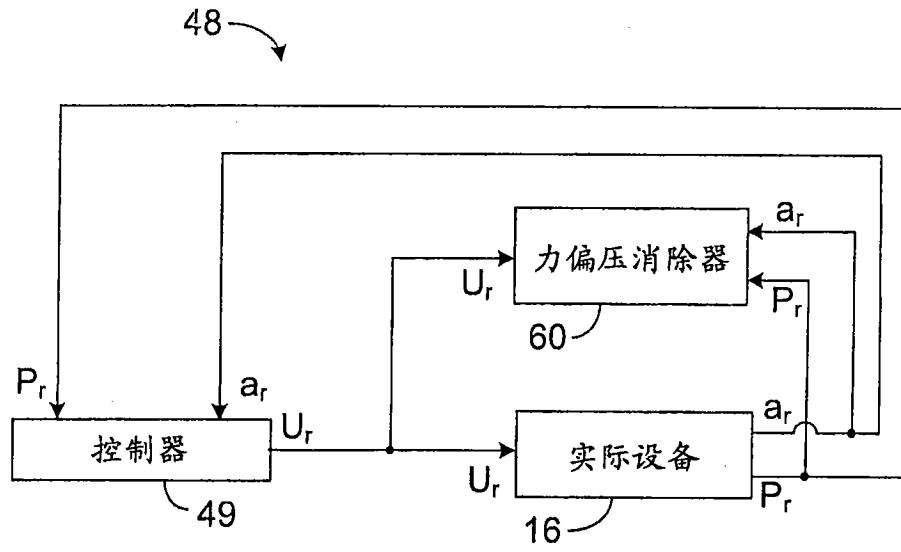


图 8

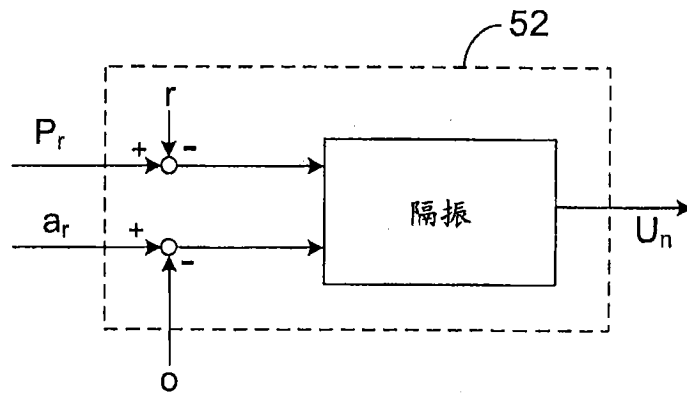


图 10

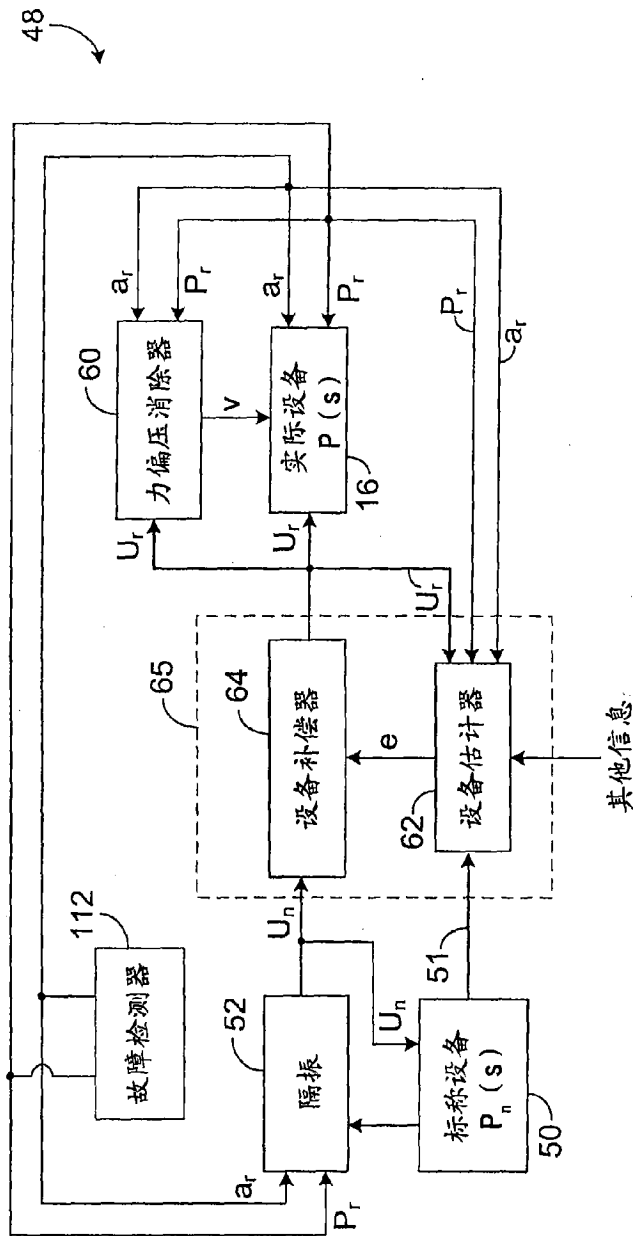


图 9

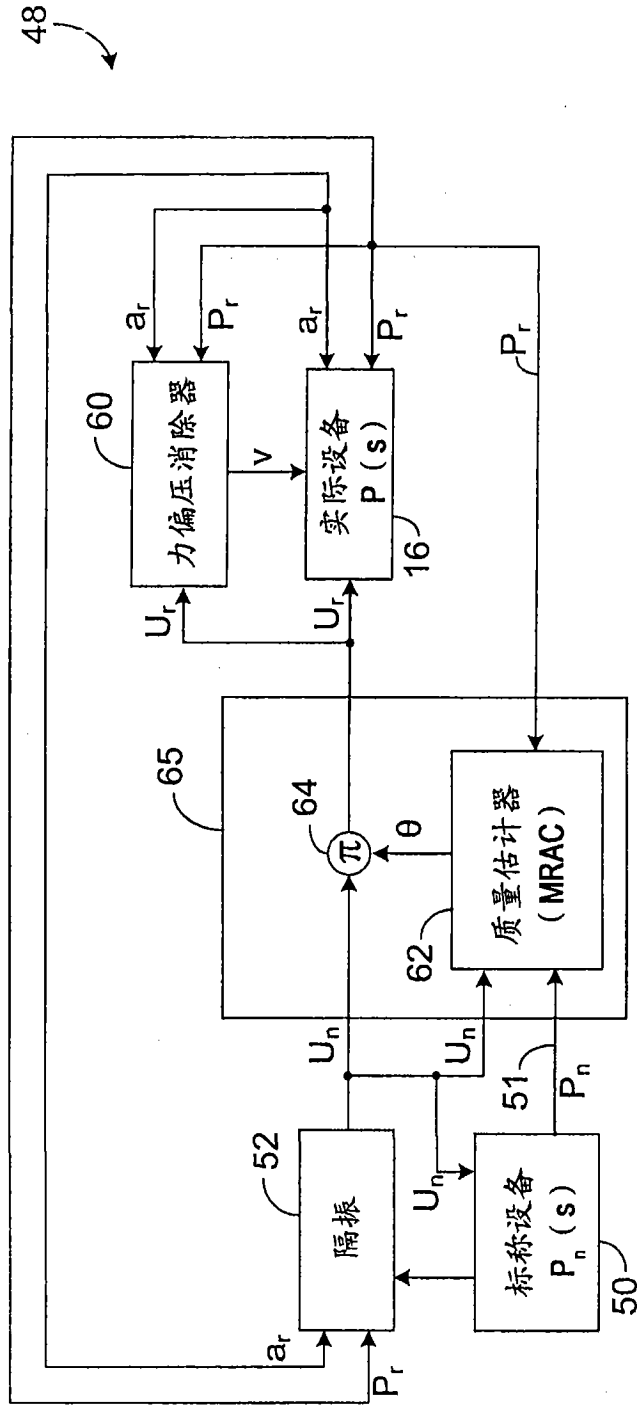


图 11

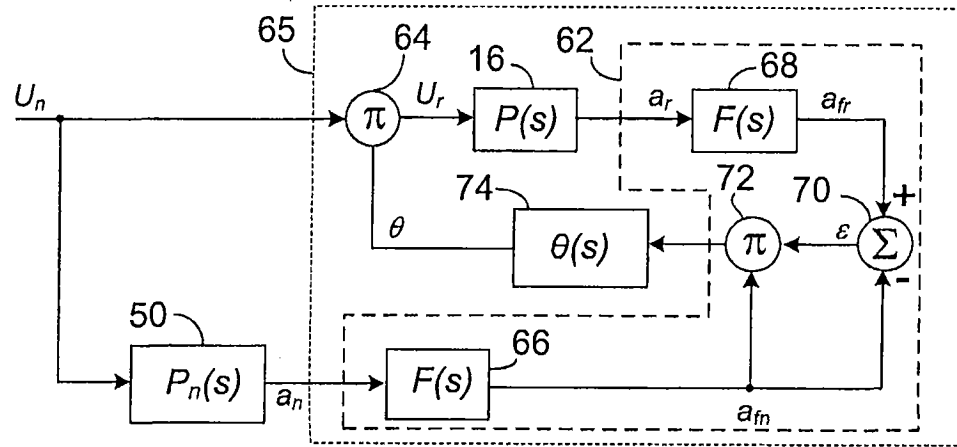


图 12

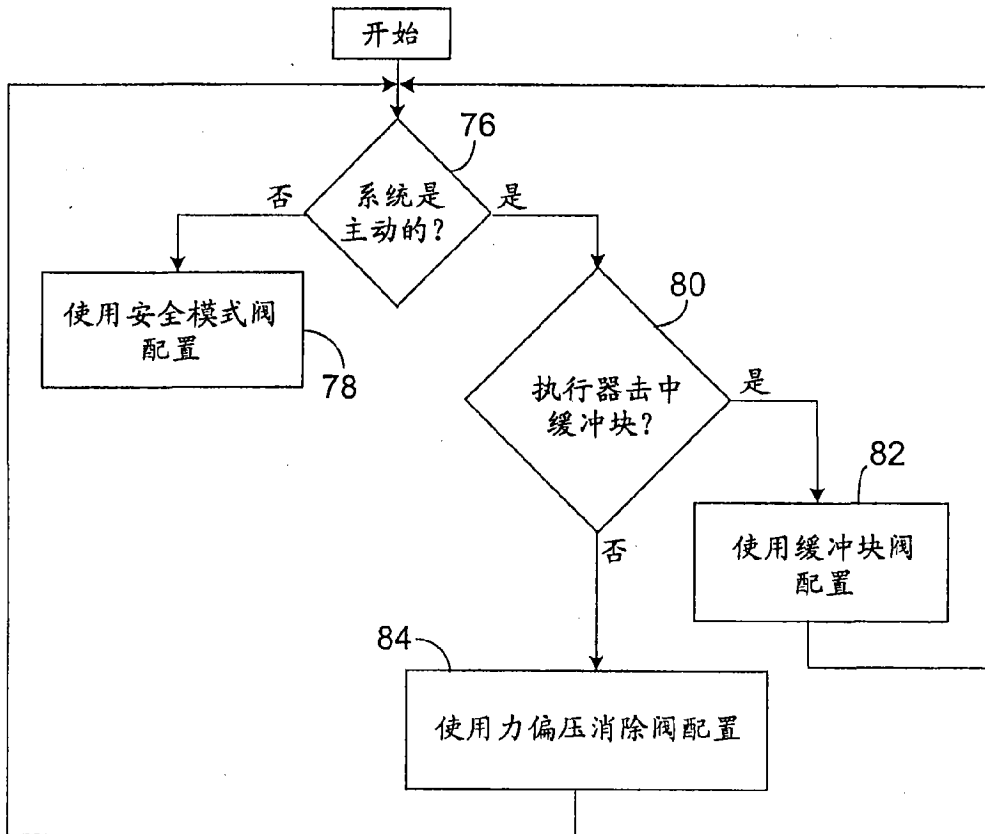


图 13

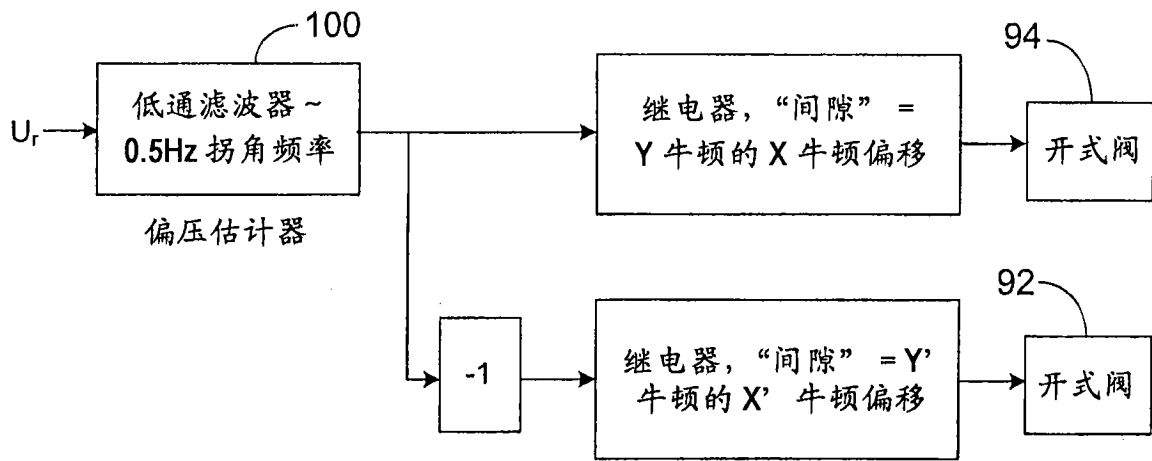


图 15

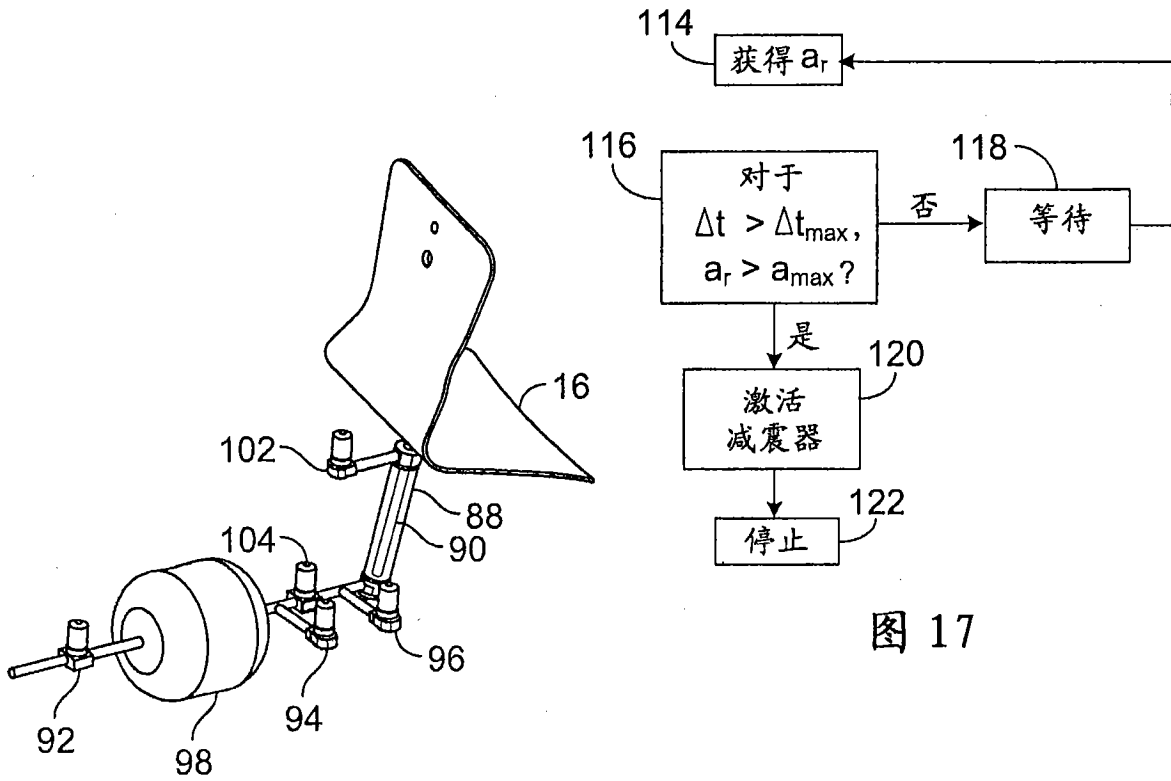


图 14

图 17

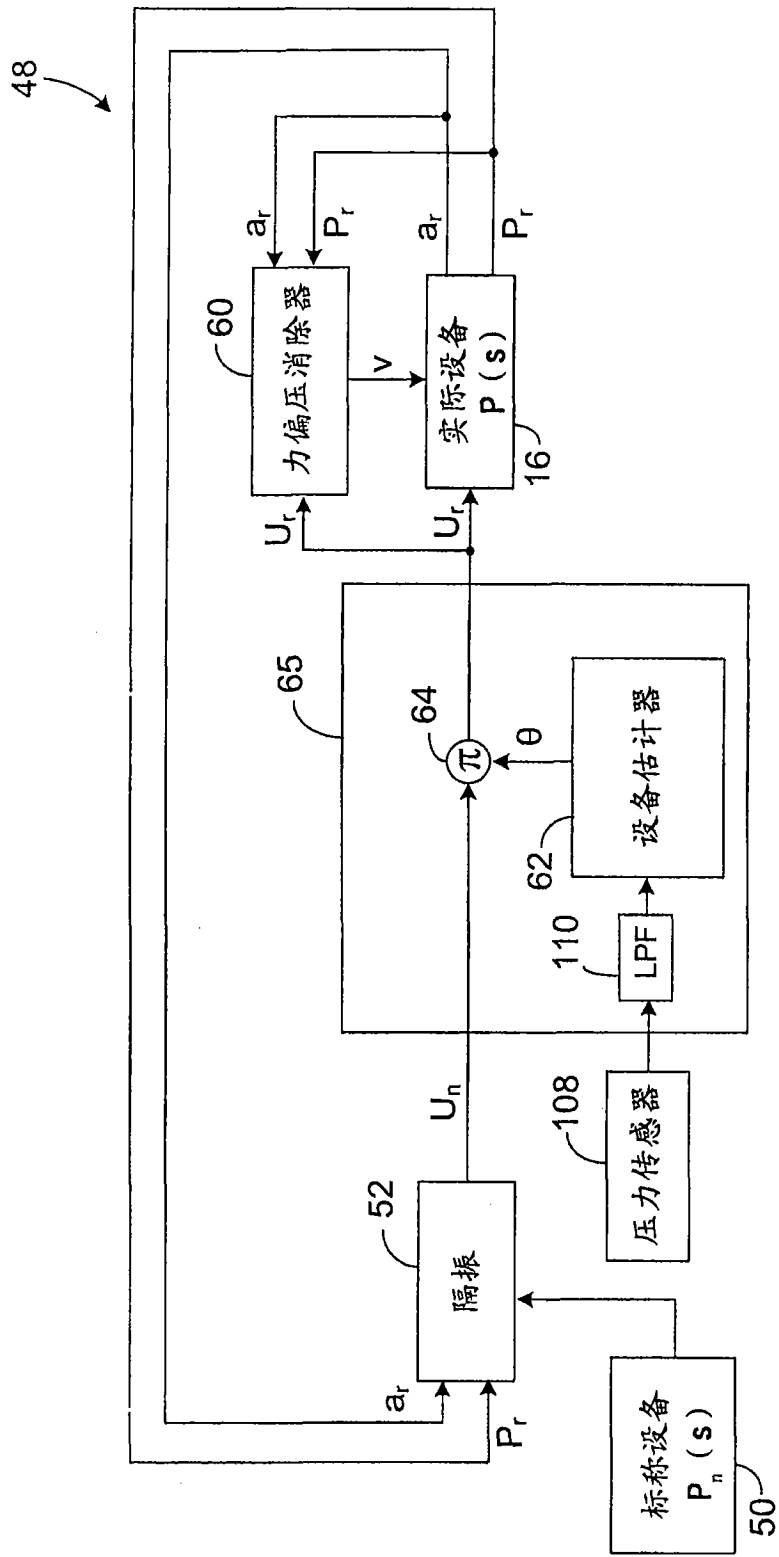


图 16

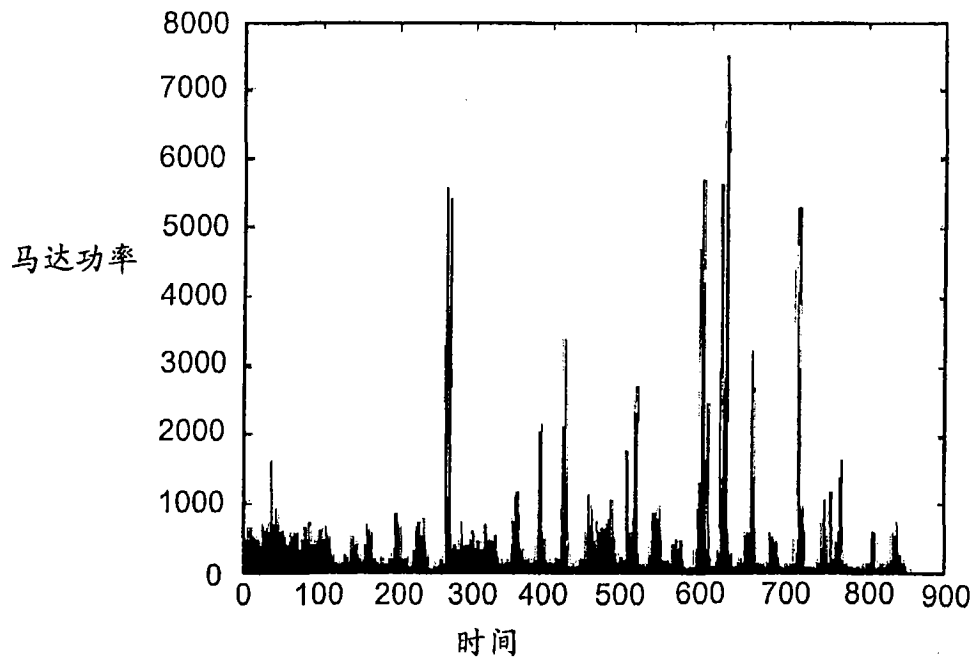


图 18

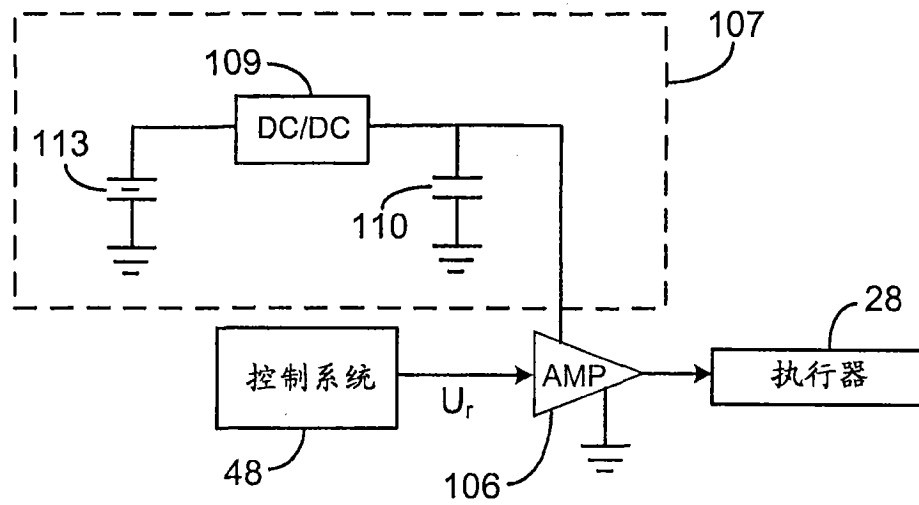


图 19

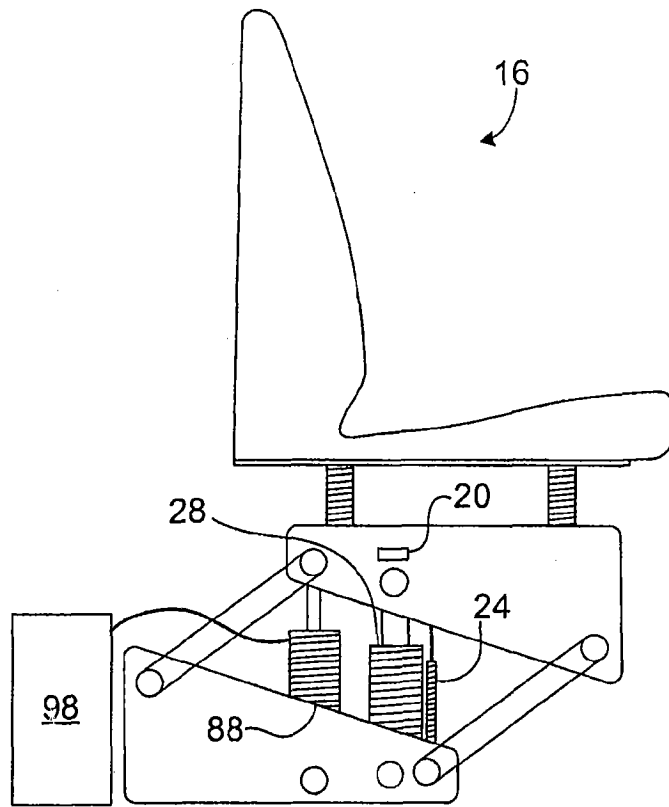


图 20

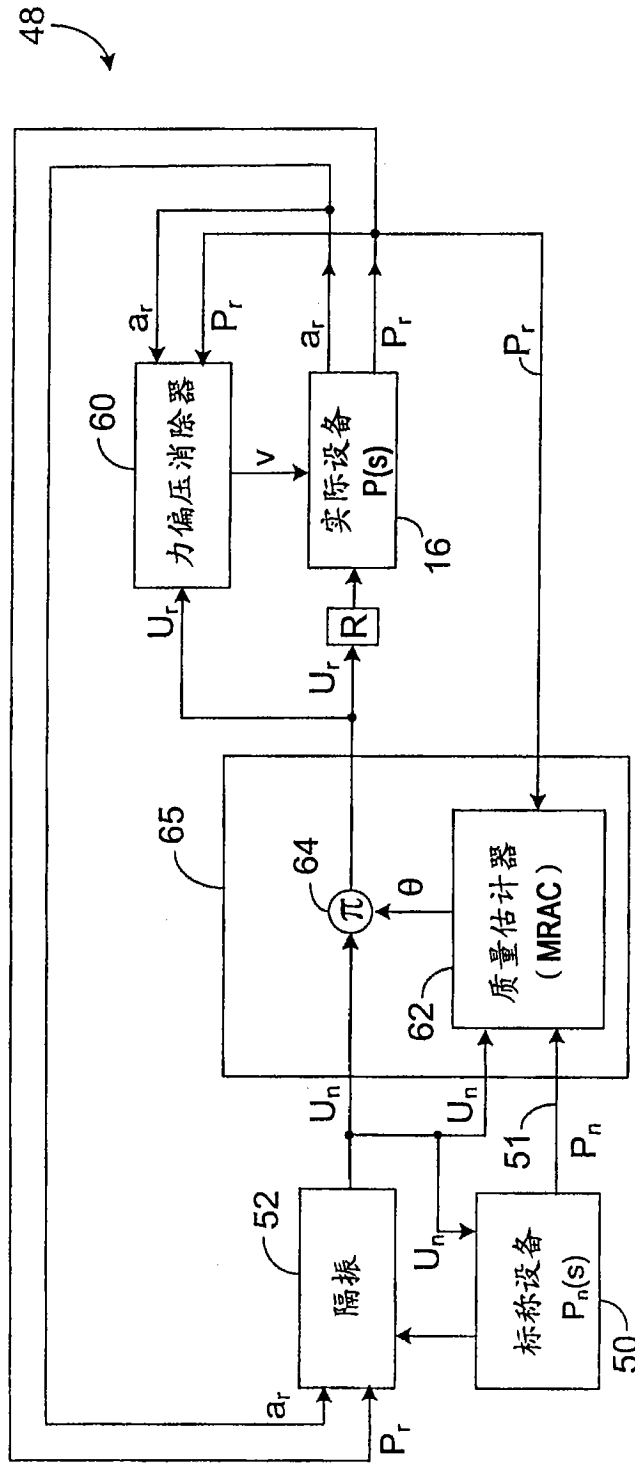


图 21

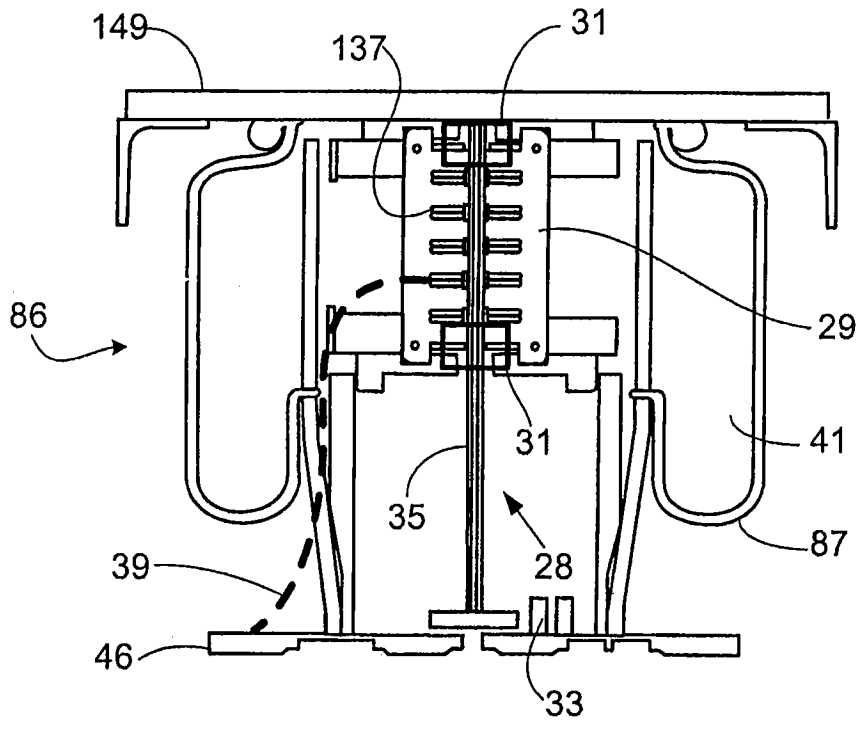


图 22

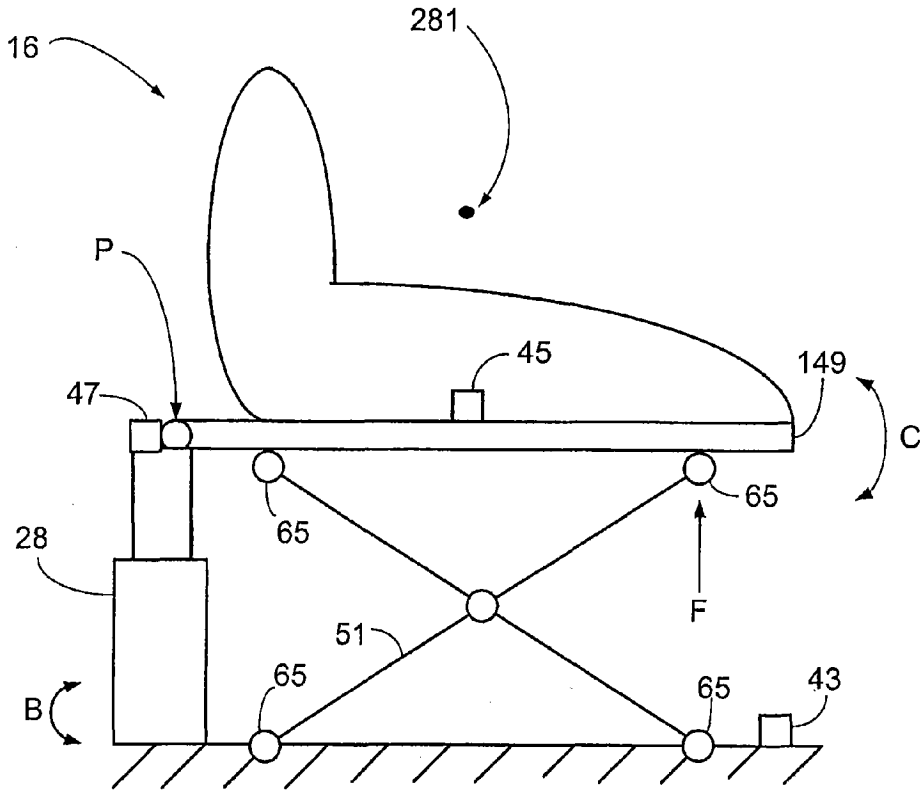


图 23A

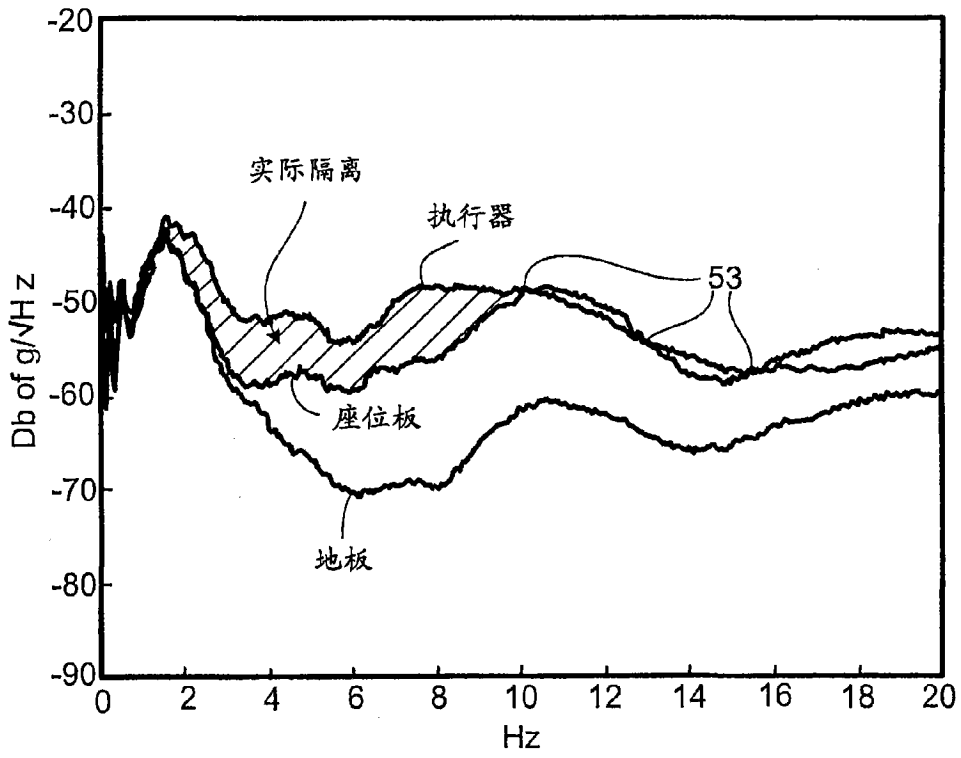


图 23B

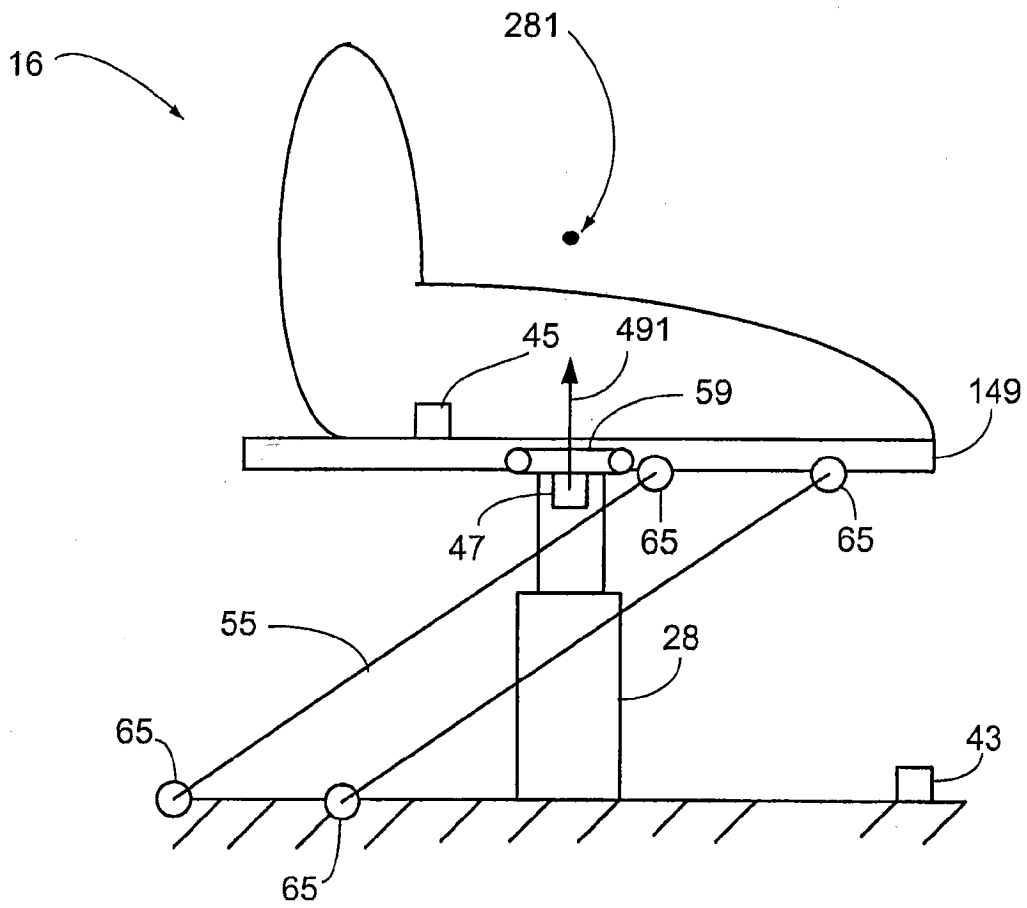


图 24A

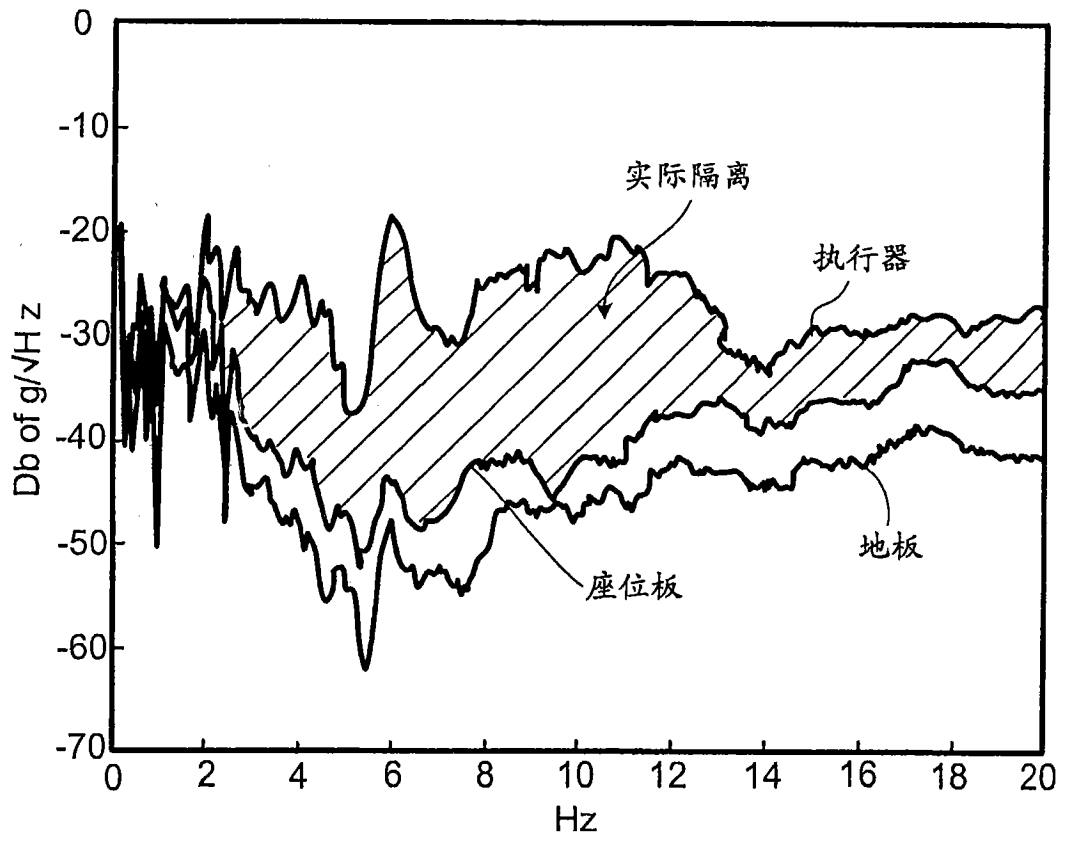


图 24B

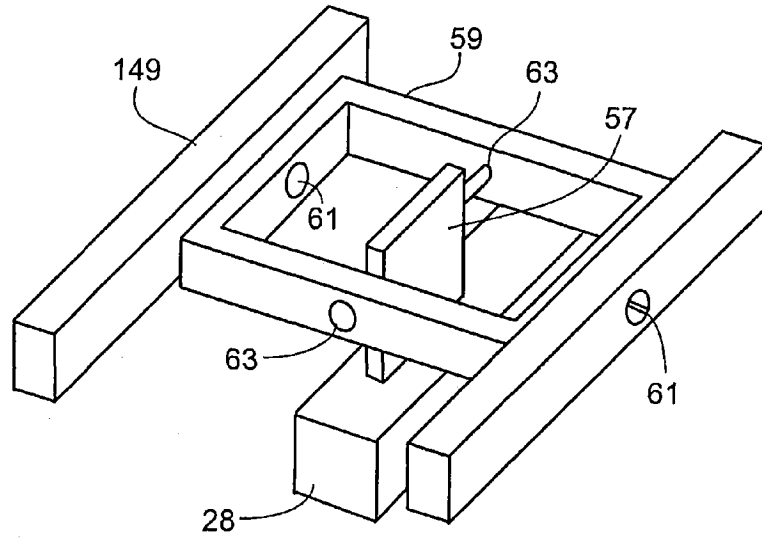


图 25

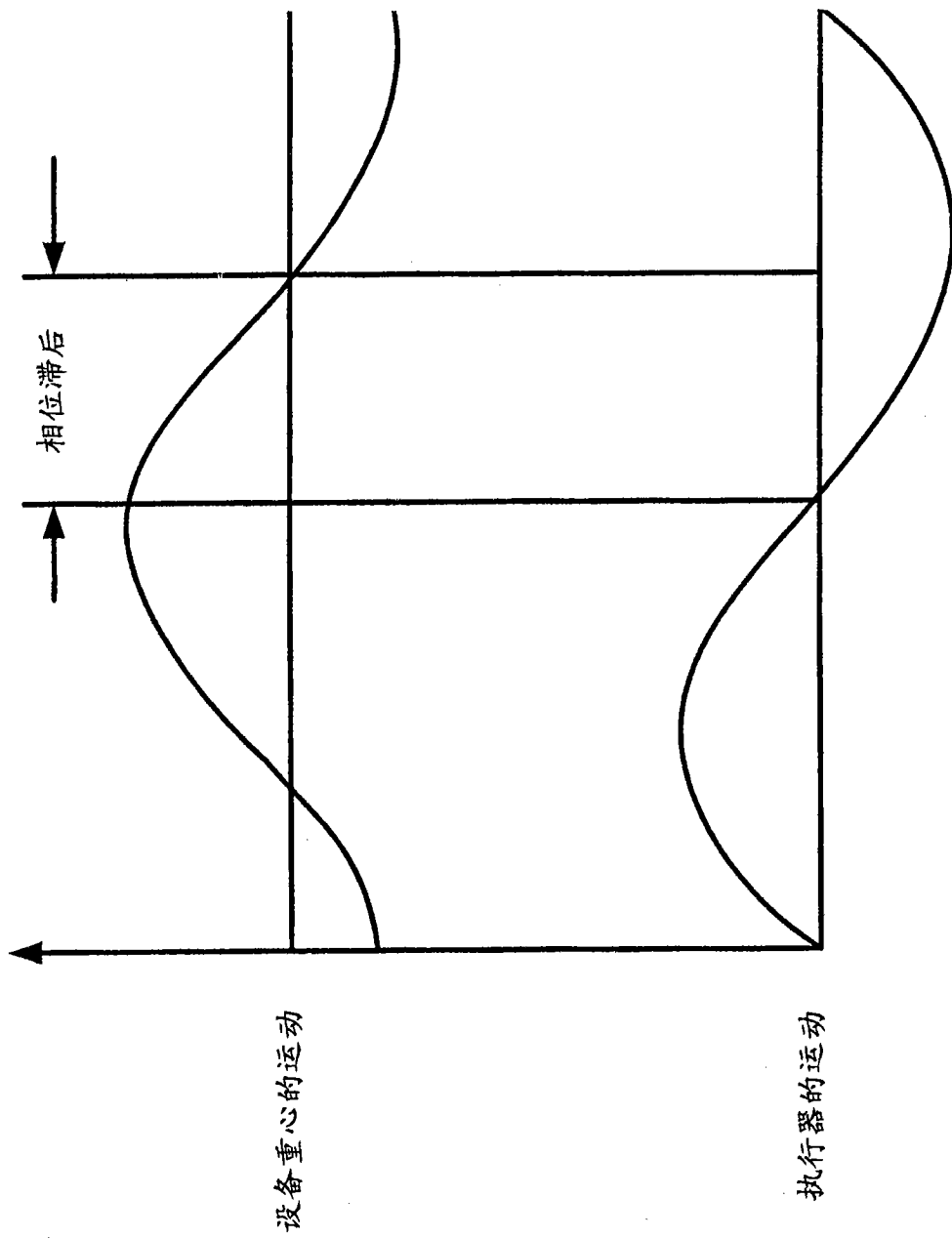


图 26

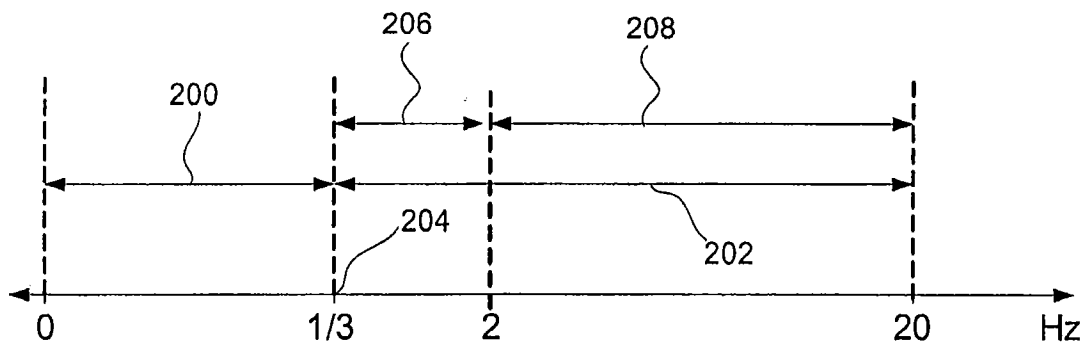


图 27