



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 104015582 B

(45) 授权公告日 2016. 04. 13

(21) 申请号 201410272903. 5

CN 102729760 A, 2012. 10. 17,

(22) 申请日 2014. 06. 18

EP 1733903 A1, 2006. 12. 20,

(73) 专利权人 吉林大学

CN 203305802 U, 2013. 11. 27,

地址 130012 吉林省长春市前进大街 2699 号

CN 103241095 A, 2013. 08. 14,

CN 203580550 U, 2014. 05. 07,

审查员 段丽丽

(72) 发明人 王军年 叶涛 孙文 马清芝 王庆年

(74) 专利代理机构 北京远大卓悦知识产权代理 事务所(普通合伙) 11369

代理人 史霞

(51) Int. Cl.

B60G 17/015(2006. 01)

B60G 17/08(2006. 01)

B60G 13/14(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 203902200 U, 2014. 10. 29,

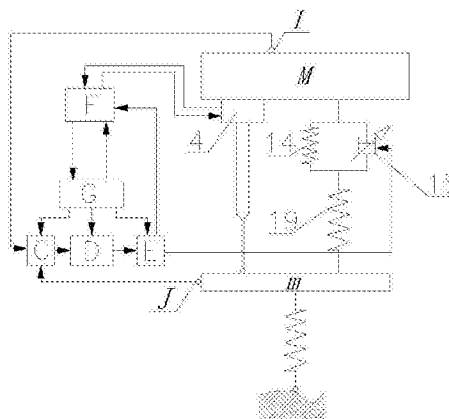
权利要求书2页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

一种可变刚度与阻尼的汽车馈能主动悬架系统

(57) 摘要

本发明公开了一种可变刚度与阻尼的汽车馈能主动悬架系统,包括悬架变刚度机构、悬架馈能机构和主动悬架控制系统;所述悬架变刚度机构包括小刚度弹簧、磁流变阻尼器和大刚度弹簧;所述悬架馈能机构包括依次双向连接的直线电机、馈能电路和蓄电池;所述主动悬架控制系统包括一个控制器,控制器的数据输入端接有振动测量处理电路,控制器的控制输出端分别连接磁流变阻尼器和直线电机的控制输入端。该悬架系统能同时自动调节阻尼和刚度,实现整车良好的操纵稳定性和平顺性;控制系统反应速度快;能源消耗大幅降低,符合整车经济性的要求;结构及控制算法简单,工作稳定可靠,使用寿命长,能够方便地应用到现有汽车悬架上,实现实时控制。



1. 一种可变刚度与阻尼的汽车馈能主动悬架系统,包括悬架变刚度机构、悬架馈能机构和主动悬架控制器;其特征是:所述悬架变刚度机构包括布置在车身与独立悬架的下摆臂或非独立悬架的车桥之间的第一刚度弹簧、磁流变阻尼器和第二刚度弹簧;所述第一刚度弹簧和第二刚度弹簧串联;所述悬架馈能机构包括依次双向连接的直线电机、馈能电路和蓄电池,所述直线电机设在车身与独立悬架的下摆臂或非独立悬架的车桥之间;所述主动悬架控制器输入车身振动信号和车桥或车轮振动信号,主动悬架控制器输出磁流变阻尼器控制信号和直线电机控制信号;所述主动悬架控制器包括微控制器单元 MCU。

2. 根据权利要求 1 所述的一种可变刚度与阻尼的汽车馈能主动悬架系统,其特征是:所述磁流变阻尼器的活塞杆上端通过一连接法兰与所述车身连接,所述第一刚度弹簧套在磁流变阻尼器外面且顶靠所述连接法兰,在车身底面位于第一刚度弹簧的外面固定一套筒,所述磁流变阻尼器的下端连接一下支座且下支座位于套筒内滑动配合,所述第二刚度弹簧上端卡在下支座下端,第二刚度弹簧下端卡在一弹簧支座上,且所述弹簧支座铰接在独立悬架的下摆臂或非独立悬架的车桥上。

3. 根据权利要求 1 所述的一种可变刚度与阻尼的汽车馈能主动悬架系统,其特征是:所述直线电机上部通过橡胶减震垫和环形压板固定在所述车身的阶梯孔处,所述直线电机穿过所述车身的阶梯孔且直线电机下端铰接在独立悬架的下摆臂或非独立悬架的车桥上。

4. 根据权利要求 1、2 或 3 所述的一种可变刚度与阻尼的汽车馈能主动悬架系统,其特征是:所述的馈能电路包含整流滤波电路和双向 DC/DC 变换器,所述直线电机、整流滤波电路、双向 DC/DC 变换器和蓄电池依次通过导线实现双向连接。

5. 根据权利要求 1 所述的一种可变刚度与阻尼的汽车馈能主动悬架系统,其特征是:所述主动悬架控制器的控制策略包括天棚控制算法和 LQR 最优控制算法;天棚控制算法调控磁流变阻尼器阻尼力;LQR 最优控制算法调控直线电机作动力。

6. 根据权利要求 1 所述的一种可变刚度与阻尼的汽车馈能主动悬架系统,其特征是:还包括振动测量处理电路,其分为车身振动测量通道和车桥或车轮振动测量通道。

7. 根据权利要求 6 所述的一种可变刚度与阻尼的汽车馈能主动悬架系统,其特征是:所述车身振动测量通道包括依次连接的第一加速度传感器、第一信号放大器和第一 RMS 电路,所述第一 RMS 电路信号输出端与主动悬架控制器的数据输入端连接;所述车桥或车轮振动测量通道包括依次连接的第二加速度传感器、第二信号放大器和第二 RMS 电路,所述第二 RMS 电路信号输出端通过 A/D 转换器与所述主动悬架控制器的数据输入端连接。

8. 根据权利要求 1、2 或 3 所述的一种可变刚度与阻尼的汽车馈能主动悬架系统,其特征是:馈能电路通过判断悬架速度与直线电机作动力的乘积的正负来判断直线电机的模式,当为正数或零时,直线电机为电动机模式;当为负数时,直线电机为发电机模式。

9. 根据权利要求 1 所述的一种可变刚度与阻尼的汽车馈能主动悬架系统,其特征是:所述主动悬架控制器输出连接阻尼力控制通道和作动力控制通道;所述阻尼力控制通道和作动力控制通道分别包含一功率放大器;所述功率放大器是由依次串联的可调增益放大器、PWM 脉宽调制器和 MOSFET 开关功放以及并联在 MOSFET 开关功放的电流输出端与可调增益放大器的输入端之间的电流负反馈放大器构成;所述 MOSFET 开关功放输出调节电流,所述可调增益放大器输入端接收阻尼力或作动力控制信号,电流负反馈放大器将调节电流反馈到可调增益放大器的输入端。

10. 根据权利要求1、2或3所述的一种可变刚度与阻尼的汽车馈能主动悬架系统,其特征是:所述第一刚度弹簧的刚度小于第二刚度弹簧的刚度。

一种可变刚度与阻尼的汽车馈能主动悬架系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种汽车用悬架系统,更具体地说,特别涉及一种可变刚度与阻尼的汽车馈能主动悬架系统。

背景技术

[0002] 汽车悬架系统对整车行驶平顺性、操纵稳定性等性能有很大影响,因此,近年来悬架系统被广泛研究。目前,悬架系统可分为被动悬架、半主动悬架和主动悬架三类。被动悬架是传统的全机械结构悬架系统,其具有结构简单、性能可靠、成本低,不需额外能量等优点,因而应用最为广泛;但也有整车行驶平顺性和操纵稳定性不能兼顾等缺点。半主动悬架用无源但参数可调的被动元件(一般为阻尼元件)替代执行机构的主动元件,能部分改善乘坐舒适性和操纵稳定性,其性能好于被动悬架,在控制品质上接近于主动悬架,且结构简单、能量损耗小、成本低,是目前市场上中高端车型普遍应用的技术。主动悬架是目前最为先进的悬架技术,主动悬架包含一系列复杂的机械和电气化结构,能实现理想悬架的设计目标,能兼顾整车行驶平顺性和操纵稳定性的要求,但鉴于其成本极高、结构复杂,整车质量增加等缺点,因此目前仅在对价格和成本不敏感的高端车型上使用;而且主动悬架执行机构消耗大量能量,导致整车经济性普遍较低。

[0003] 磁流变阻尼器是实现(半)主动悬架系统阻尼实时可调的一种新型阻尼器。和传统的液压式阻尼器不同,磁流变液是一种智能材料,当无外加磁场作用时,呈现低粘度的牛顿流体特性;在强磁场作用下,可在短时间内(毫秒级)表观粘度增加两个数量级以上,呈现高粘度、低流动性的流体特性,并且这种变化是可逆、连续、可控的,采用这一材料制成的磁流变阻尼器具有阻尼力大、可调范围宽、反应迅速等优点。直线电机结构紧凑、功率损耗小、快移速度高、加速度高、高速度性好;直线电机的动子(初级)和定子(次级)之间无直接接触,定子及动子均为刚性部件,从而保证直线电机运动的静音性(有效减少车辆噪音)以及整体机构核心运动部件的高刚性;综合看,直线电机具有结构简单、灵敏度高、定位精度高、工作安全可靠、反应速度快、随动性好、免维修及运动噪声低、寿命长等优点。

[0004] 目前常用的主动悬架形式大多都是通过空气弹簧、双作用油缸和高速响应液力控制阀直接耦合等结构实现的,但它们都有反应慢、结构复杂、体积大、所需能量多等缺点;同时现有的直线电机主动悬架存在结构复杂、可靠性差、刚度调节困难等问题;也有一些主动悬架使用了磁流变阻尼器,但都不能实现刚度和阻尼的实时可调。

发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题是提供一种可变刚度与阻尼的汽车馈能主动悬架结构,进一步的目的是自动调节阻尼和刚度,实现整车良好的操纵稳定性和平顺性;进一步的目的是运用直线电机馈能机构作为阻尼器吸收冲击振动能量。该系统能源消耗大幅降低,符合整车经济性的要求;且控制结构简单,工作稳定可靠,使用寿命长,能够方便地应用到现有汽车悬架上,实现实时控制。

[0006] 为解决上述问题,本发明采用如下技术方案:

[0007] 一种可变刚度与阻尼的汽车馈能主动悬架系统,包括悬架变刚度机构、悬架馈能机构和主动悬架控制器;所述悬架变刚度机构包括布置在车身与独立悬架的下摆臂或非独立悬架的车桥之间的第一刚度弹簧、磁流变阻尼器和第二刚度弹簧;所述第一刚度弹簧和第二刚度弹簧串联;所述悬架馈能机构包括依次双向连接的直线电机、馈能电路和蓄电池,所述直线电机设在车身与独立悬架的下摆臂或非独立悬架的车桥之间;所述主动悬架控制器输入车身振动信号和车桥或车轮振动信号,控制器输出磁流变阻尼器控制信号和直线电机控制信号。

[0008] 作为进一步的优选,所述磁流变阻尼器的活塞杆上端通过一连接法兰与所述车身连接,所述第一刚度弹簧套在磁流变阻尼器外面且顶靠所述连接法兰,在车身底面位于第一刚度弹簧的外面固定一套筒,所述磁流变阻尼器的下端连接一下支座且下支座位于套筒内滑动配合,所述第二刚度弹簧上端卡在下支座下端,第二刚度弹簧下端卡在一弹簧支座上,且所述弹簧支座铰接在独立悬架的下摆臂或非独立悬架的车桥上。

[0009] 作为进一步的优选,所述直线电机上部通过橡胶减震垫和环形压板固定在所述车身的阶梯孔处,所述直线电机穿过所述车身的阶梯孔且直线电机下端铰接在独立悬架的下摆臂或非独立悬架的车桥上。

[0010] 作为进一步的优选,所述的馈能电路包含整流滤波电路和双向 DC/DC 变换器,所述直线电机、整流滤波电路、双向 DC/DC 变换器和蓄电池依次通过导线实现双向连接。

[0011] 作为进一步的优选,所述控制器的控制策略包括天棚控制算法和 LQR 最优控制算法;天棚控制算法调控磁流变阻尼器阻尼力;LQR 最优控制算法调控直线电机作动力。

[0012] 作为进一步的优选,所述振动测量处理电路分为车身振动测量通道和车桥或车轮振动测量通道。

[0013] 作为进一步的优选,所述车身振动测量通道包括依次连接的第一加速度传感器、第一信号放大器和第一 RMS 电路,所述第一 RMS 电路信号输出端与控制器的数据输入端连接;所述车桥或车轮振动测量通道还包括依次连接的第二加速度传感器、第二信号放大器和第二 RMS 电路,所述第二 RMS 电路信号输出端通过 A/D 转换器与控制器的数据输入端连接。

[0014] 作为进一步的优选,馈能电路通过判断悬架速度与直线电机作动力的乘积的正负来判断直线电机的模式,当为正数或零时,直线电机为电动机模式;当为负数时,直线电机为发电机模式。

[0015] 作为进一步的优选,所述控制器输出连接阻尼力控制通道和作动力控制通道;所述阻尼力控制通道和作动力控制通道分别包含一功率放大器;所述功率放大器是由依次串联的可调增益放大器、PMW 脉宽调制器和 MOSFET 开关功放以及并联在 MOSFET 开关功放的电流输出端与可调增益放大器的输入端之间的电流负反馈放大器构成;所述 MOSFET 开关功放输出调节电流,所述可调增益放大器输入端接收阻尼力或作动力控制信号,电流负反馈放大器将调节电流反馈到可调增益放大器的输入端。

[0016] 作为进一步的优选,所述第一刚度弹簧的刚度小于第二刚度弹簧的刚度。

[0017] 本发明的有益效果是:

[0018] 1. 由于主动悬架控制系统通过其车身和车桥(或车轮)振动测量通道能够实时采

集车身和车桥（或车轮）的振动幅度信号，再通过控制器根据采集的振动信号和预存的控制程序能够实时调控悬架系统的刚度与直线电机的作动力。因此该悬架系统能同时自动调节阻尼和刚度，实现整车良好的操纵稳定性和平顺性；

[0019] 2. 控制系统反应速度快。由于在主动悬架控制系统中，各个振动测量通道和控制通道都独立、自动的完成采集、运算、调节等过程，通过阻尼力控制通道可连续输出规律变化的电流，用于对磁流变阻尼器的阻尼力控制；同样的通过作动力控制通道可连续输出规律变化的电流，用于对直线电机的作动力控制。因此主动悬架控制系统反应速度快，可在极短的时间内对磁流变阻尼器阻尼力及直线电机作动力做出准确地调节。

[0020] 3. 通过悬架馈能机构作为阻尼器吸收冲击振动能量，可将传统被动悬架系统中阻尼元件消耗的能量部分转化成电能储存在蓄电池中，节约了主动悬架的能源消耗，使该系统能源消耗大幅降低，符合整车经济性的要求。

[0021] 4. 结构及控制算法简单，工作稳定可靠，使用寿命长，能够方便地应用到现有汽车悬架上，实现实时控制。

附图说明

[0022] 图 1 是本发明的结构组成框图。

[0023] 图 2 是本发明与四分之一车体的装配结构示意图。

[0024] 图 3 是本发明所述的信号放大器的电气原理图。

[0025] 图 4 为本发明所述的悬架馈能机构原理组成框图。

[0026] 图 5 为本发明所述的主动悬架控制系统组成框图。

[0027] 图中：振动测量处理电路 C，控制器 D，功率放大器 E，馈能电路 F，蓄电池 G，第一加速度传感器 I，第二加速度传感器 J，簧载质量 M，非簧载质量 m，车身 1，橡胶减震垫 2，螺栓 3，直线电机 4，环形压板 5，滑动轴承 6，螺钉 7，法兰螺栓 8，活塞杆螺钉 9，小弹簧上支座 10，连接法兰 11，橡胶套 12，套筒 13，小刚度弹簧 14，磁流变阻尼器 15，小弹簧下支座 16，连接螺钉 17，下支座 18，大刚度弹簧 19，橡胶棒 20，弹簧支座 21，圆柱销 22，下摆臂或车桥 23，销轴 24，电流放大电路 25，可编程放大电路 26。

具体实施方式

[0028] 如图 1 和图 2 所示，本发明涉及的一种可变刚度与阻尼的汽车馈能主动悬架系统，包括悬架变刚度机构、悬架馈能机构和主动悬架控制系统三部分。所述悬架变刚度机构包括上下布置在簧载质量 M（即车身 1）与非簧载质量 m（即独立悬架的下摆臂或非独立悬架的车桥 23）之间的小刚度弹簧 14、磁流变阻尼器 15（或称为磁流变减震器）和大刚度弹簧 19，本实施例非簧载质量 m 以独立悬架的下摆臂 23 为例；所述磁流变阻尼器 15 的活塞杆上端通过活塞杆螺钉 9 固接一连接法兰 11，所述连接法兰 11 通过法兰螺栓 8 固定在车身 1 底面。在连接法兰 11 下表面焊接有小弹簧上支座 10，所述小刚度弹簧 14 套在磁流变阻尼器 15 外面且上端卡在小弹簧上支座 10 内用于顶靠所述连接法兰 11 和车身 1，在小刚度弹簧 14 上端与磁流变阻尼器 15 的活塞杆之间设有橡胶套 12，橡胶套 12 与磁流变阻尼器 15 的活塞杆过盈配合且紧靠在小弹簧上支座 10 内；在磁流变阻尼器 15 的缸筒下部焊接有小弹簧下支座 16，所述小刚度弹簧 14 下端卡在小弹簧下支座 16 内。在车身 1 底面位于小刚度

弹簧 14 的外面固定焊接一个套筒 13, 所述磁流变阻尼器 15 的缸筒下端通过连接螺钉 17 连接一个下支座 18, 该下支座 18 位于套筒 13 内滑动配合且在下支座 18 与套筒 13 之间安装有滑动轴承 6。所述大刚度弹簧 19 上端卡在下支座 18 下端口内, 大刚度弹簧 19 下端卡在一弹簧支座 21 上, 所述弹簧支座 21 通过一圆柱销 22 铰接在独立悬架的下摆臂 23 上。在弹簧支座 21 上端面位于大刚度弹簧 19 内固定有橡胶棒 20, 用于控制悬架的压缩行程在合理的范围内。

[0029] 如图 1 所示, 所述悬架馈能机构包括依次通过导线实现双向连接的直线电机 4、馈能电路 F 和蓄电池 G。如图 2 所示, 所述直线电机 4 设在车身 1 与独立悬架的下摆臂或非独立悬架的车桥 23 之间; 所述直线电机 4 上部通过四个螺栓 3 固接有橡胶减震垫 2, 所述橡胶减震垫 2 卡在所述车身 1 的阶梯孔并通过环形压板 5 和螺钉 7 固定在所述车身 1 的阶梯孔处, 所述直线电机 4 由所述车身 1 的阶梯孔穿过且直线电机 4 下端通过销轴 24 铰接在独立悬架的下摆臂或非独立悬架的车桥 23 上, 本实施例以独立悬架为例。如图 4 所示, 所述馈能电路 F 包含整流滤波电路和双向 DC/DC 变换器, 所述直线电机 4、整流滤波电路、双向 DC/DC 变换器和蓄电池 G 依次通过两根导线实现双向连接。

[0030] 作为进一步的优选, 通过直线电机 4 的内部机械限位结构可以限制该悬架系统的最大压缩及伸张行程, 从而保证了悬架在安全合理的行程区间工作, 这一结构在悬架动作过程中可以达到限制直线电机 4 的极限作动力和回收能量的作用。

[0031] 如图 5 所示, 所述主动悬架控制系统由所述蓄电池 G 供电并且包括一个用于控制磁流变阻尼器 15 阻尼力及直线电机 4 作动力的控制器 D, 所述控制器 D 以微控制器单元 MCU 为核心, 包括多个 A/D 转换器、I/O 接口、D/A 转换器。在控制器 D 的数据输入端接有振动测量处理电路 C, 控制器 D 的控制输出端分别通过阻尼力控制通道和作动力控制通道连接磁流变阻尼器 15 和直线电机 4 的控制输入端。在控制器 D 内部存储主动悬架控制策略。作为进一步的优选, 该主动悬架控制策略的控制方法采用通过现有技术中简便可靠的天棚控制算法及 LQR 最优控制算法确定振动级别及控制策略表 (如表 1 所示)。利用天棚控制算法调控磁流变阻尼器 15 阻尼力; LQR 即线性二次型调节器, 利用 LQR 最优控制算法调控直线电机 4 作动力。通过这两种高效的算法调控磁流变阻尼器 15 阻尼力及直线电机 4 作动力实现起来比较简单, 能够很好地达到理想的控制效果, 即有效地抑制车身 1 的垂直振动、俯仰和侧倾运动, 提高车辆操纵稳定性和平顺性。

[0032] 所述振动测量处理电路 C 分为车身振动测量通道和车桥 (或车轮) 振动测量通道, 分别如图 5 中带箭头的双点划线和带箭头的点线所示。所述车身振动测量通道包括通过导线依次连接的第一加速度传感器 I、第一信号放大器和第一 RMS 电路, 所述第一 RMS 电路信号输出端通过 A/D 转换器与控制器 D 的数据输入端连接。所述车桥 (或车轮) 振动测量通道包括通过导线依次连接的第二加速度传感器 J、第二信号放大器和第二 RMS 电路, 所述第二 RMS 电路信号输出端通过 A/D 转换器与控制器 D 的数据输入端连接。所述第一加速度传感器 I 设置在车身 1 上, 第二加速度传感器 J 设置在车桥 (或车轮) 上。所述第一 RMS 电路和第二 RMS 电路为均方根直流转换电路 (或称为均方根直流转换器)。

[0033] 如图 3 所示为第一或第二信号放大器的电气原理图。信号放大器包括三部分电路, 前一部分为电流放大电路 25, 中间为电阻 R, 后一部分为可编程放大电路 26。电流放大电路 25 首先将加速度传感器检测到的车桥 (或车轮) 振动信号 (物理电流信号) 或车身

负反馈振动信号（物理电流信号）以满足灵敏度的要求进行电流放大，再通过中间电阻 R 转换为物理电压信号。

[0034] 所述阻尼力控制通道和作动力控制通道分别如图 5 中带箭头虚线和带箭头单点划线所示，二个控制通道分别包含一功率放大器 E。所述功率放大器 E 是由依次串联的可调增益放大器、PMW 脉宽调制器和 MOSFET 开关功放，以及并联在 MOSFET 开关功放的电流输出端与可调增益放大器的输入端之间的电流负反馈放大器构成。所述 MOSFET 开关功放输出调节电流，所述可调增益放大器输入端接收阻尼力或作动力控制参考信号，电流负反馈放大器将调节电流反馈到可调增益放大器的输入端。

[0035] 如图 5 所示，本发明所述的主动悬架控制系统的具体实施细节如下：

[0036] 根据第二加速度传感器 J 实时采集的由实际路面激励经轮胎传递后的车桥（或车轮）振动信号，依振动级别及控制策略表（参见表 1）第一列所示划分出 6 种车桥（或车轮）振动级别，再根据第一加速度传感器 I 实时采集的实际工况下的车身负反馈振动信号，依振动级别及控制策略表（参见表 1）第二列所示划分出 3 种振动级别，根据计算机事先模拟优化（依据天棚控制算法及 LQR 最优控制算法）后确定出 18 种振动级别对应的阻尼器和直线电机 4 控制参考信号（电流），并将上述两种控制参考信号形成振动级别及控制策略表（如表 1 所示），事先存放在所述控制器 D 的内存中，用以主动悬架控制系统工作时，被主动悬架控制程序调用来实施控制。

[0037] 该振动级别及控制策略表的振动级别（如表 1 中第一和第二列所示）是根据使各谐振频率处具有最小的幅频特性来确定的。在车辆行驶时，第二加速度传感器 J 检测的车桥（或车轮）振动信号（物理电流信号），经过第二信号放大器放大后，输出到第二 RMS 电路，转换出车桥（或车轮）的振动信号（物理电压信号），送入控制器 D 的 A/D 转换器转变为车桥（或车轮）振动信号（数字电流信号）；与此同时，第一加速度传感器 I 检测的车身振动信号（物理电流信号），经过第一信号放大器放大后，输出到第一 RMS 电路，转换出车身 1 的负反馈振动信号（物理电压信号），送入控制器 D 的 A/D 转换器转变为车身振动信号（数字电流信号）。在控制器 D 的 MCU 中以上述两个振动信号作为控制策略类型的选择依据，根据振动级别及控制策略表确定振动级别，输出控制参考信号 u_1 （数字电流信号）；该控制参考信号 u_1 经过 D/A 转换器转换成控制参考信号（模拟电压信号）后传送给各自功率放大器 E，从而独立控制与其相对应的磁流变阻尼器 15 驱动电流值及直线电机 4 驱动电流值，最终独立控制磁流变阻尼器 15 阻尼力及直线电机 4 作动力，进一步降低车身 1 振动，并能达到闭环控制的目的。作为进一步的优选，主动悬架控制系统中的各个（对于轿车一般为四个）车桥（或车轮）振动测量通道和阻尼力控制通道及作动力控制通道都是由各个独立的电路板提供电流，以避免干扰和电路驱动能力不足的缺点。此外所述的蓄电池 G 统一给各个独立的电路板供电。

[0038] 表 1 振动级别及控制策略表

[0039]

车桥（或车轮） 振动信号 /A	车身振动信号 /A	控制参考信号/A	
		磁流变阻尼器	直线电机
0-0.3	0-0.1	0	10
	0.1-0.25	0	10
	0.25-0.4	0.2	14
	0-0.1	0.2	14

[0040]

0.3-0.8	0.1-0.25	0.5	20
	0.25-0.4	0.9	25
0.8-1.5	0-0.1	0.5	20
	0.1-0.25	0.9	25
	0.25-0.4	1.3	30
1.5-2.4	0-0.1	0.9	25
	0.1-0.25	1.3	30
	0.25-0.4	1.8	34
2.4-3.5	0-0.1	1.3	30
	0.1-0.25	2.3	38
	0.25-0.4	2.9	44
>3.5	0-0.1	1.8	34
	0.1-0.25	2.9	44
	0.25-0.4	3.5	50

[0041] 为了保证 D/A 转换器的精度,将所述控制器 D 的输出控制参考信号(模拟电压信号)固定在 5V 以内,通过调整可调增益放大器改变控制增益,将阻尼力和作动力控制信号分别送到 PWM 脉宽调制器的输入端。可调增益放大器的增益可以通过 $k_m = \frac{5000}{k_m}$ 计算,该 k_m 值经 I/O 接口动态地改变控制器 D 的增益系数,使主动悬架控制系统的实际输出的磁流变阻尼器 15 和直线电机 4 的驱动电流值随路况动态改变,达到实时控制的目的。可调增益放大器的输出电压送入 PWM 电压脉宽调制器, PWM 脉宽调制器根据输入电压大小不同产生占空比不同的方波,将此方波送给 MOSFET 开关功放,就会分别产生 0-3.5A 不同大小的驱动电流和 10-50A 不同大小的驱动电流,分别改变磁流变阻尼器 15 阻尼力和直线电机 4 作动力。此外,设置的电流负反馈放大器可提高控制器 D 的抗干扰能力,反馈系数可设置在 0.1-0.2 之间。

[0042] 要实现对振动能量的回收,要求直线电机 4 能够在四个象限运行,即当速度与电磁推力同向时,直线电机 4 处在电动状态,直线电机 4 作为电动机耗能,电能从蓄电池 G 流向直线电机 4 作动器;当速度与推力反向时,直线电机 4 作动器处在发电状态,电能由直线电机 4 流向蓄电池 G。馈能电路 F 通过判断悬架速度与直线电机 4 作动力(电磁力)的乘积的正负来进行直线电机 4 的模式识别,具体控制过程如下:

[0043] (1) 当 $F_{ij}(z_{1ij}-z_{2ij}) \geq 0$ 时,直线电机 4 设定为电动机模式,蓄电池 G 向直线电机 4 输出电能,直线电机 4 产生电磁力抑制车身 1 振动。

[0044] (2) 当 $F_{ij}(z_{1ij}-z_{2ij}) < 0$ 时,直线电机 4 设定为发电机模式,直线电机 4 通过整流滤波电路和双向 DC/DC 变换器电路向蓄电池 G 充电回馈电能。

[0045] 上述公式中 F_{ij} 分别设为汽车各个(对于轿车一般为四个)车轮处直线电机作动器的作动力(电机输出力); z_{1ij} 分别为各个(对于轿车一般为四个)车轮处位置的车身振动速度, z_{2ij} 分别为各个直线电机安装处的车轮(或车桥)振动速度;角标 i 和 j 的取值都为 1 或者 2, i 为 1 时代表是前轴, i 为 2 时代表后轴, j 为 1 时代表是左轮, j 为 2 时代表是右轮。举例表示: F_{12} 代表是右前轮的直线电机作动力, z_{112} 代表是右前轮处的车身振动速度。

[0046] 参照图 4 所示为悬架馈能机构电路原理组成框图。直线电机 4 在第四象限工作时,作动器设定为发电机模式,当悬架带动直线电机 4 转子运动时,直线电机 4 定子可以产生馈电电流,经现有技术的整流滤波电路和双向 DC/DC 变换器的作用后变成直流电能存储在蓄电池 G 里,供磁流变阻尼器 15、直线电机 4 及其他电气设备使用。

[0047] 尽管本发明的实施方案已公开如上,但其并不仅仅限于说明书和实施方式中所列运用,它完全可以被适用于各种适合本发明的领域,对于熟悉本领域的人员而言,可容易地实现另外的修改,因此在不背离权利要求及等同范围所限定的一般概念下,本发明并不限于特定的细节和这里示出与描述的图例。

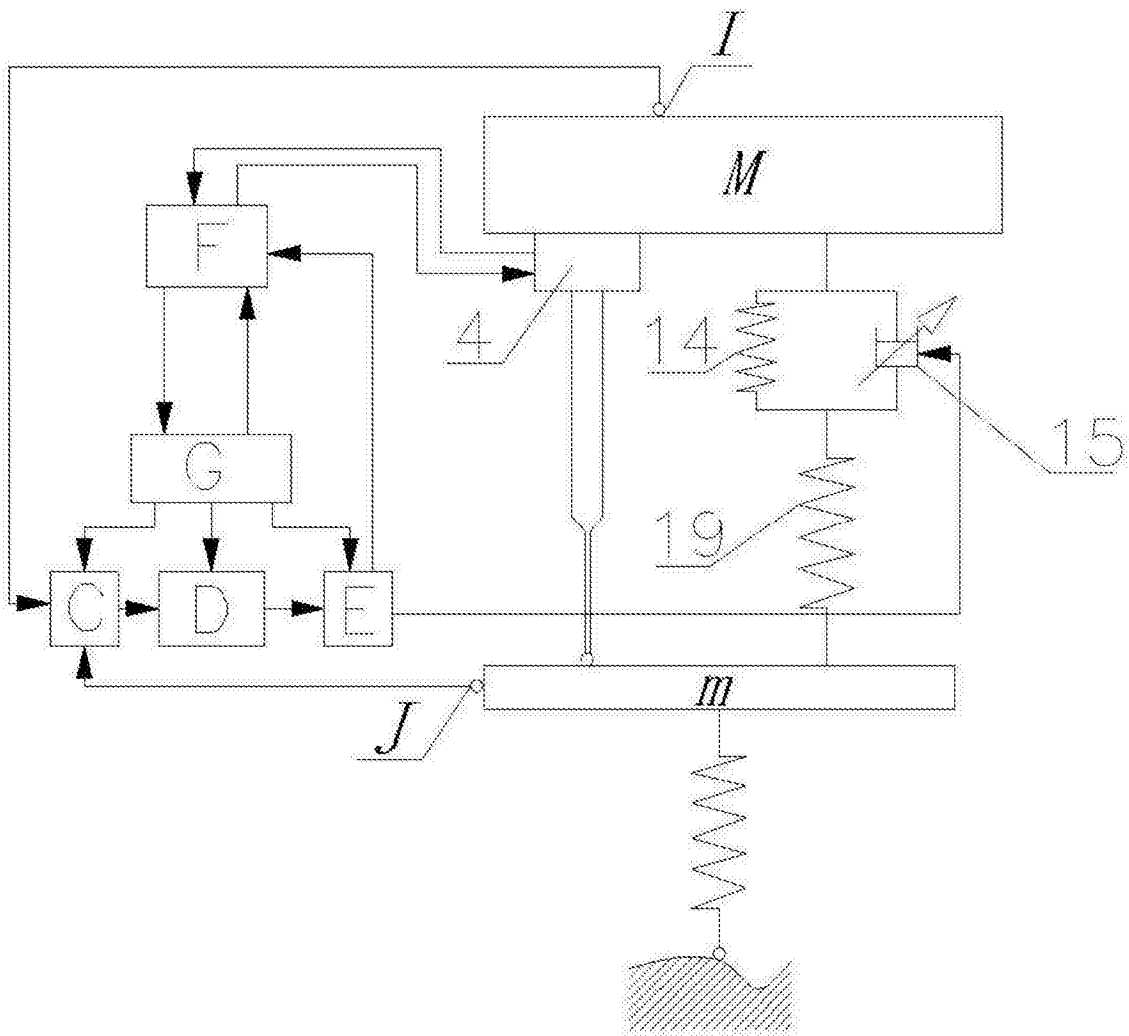


图 1

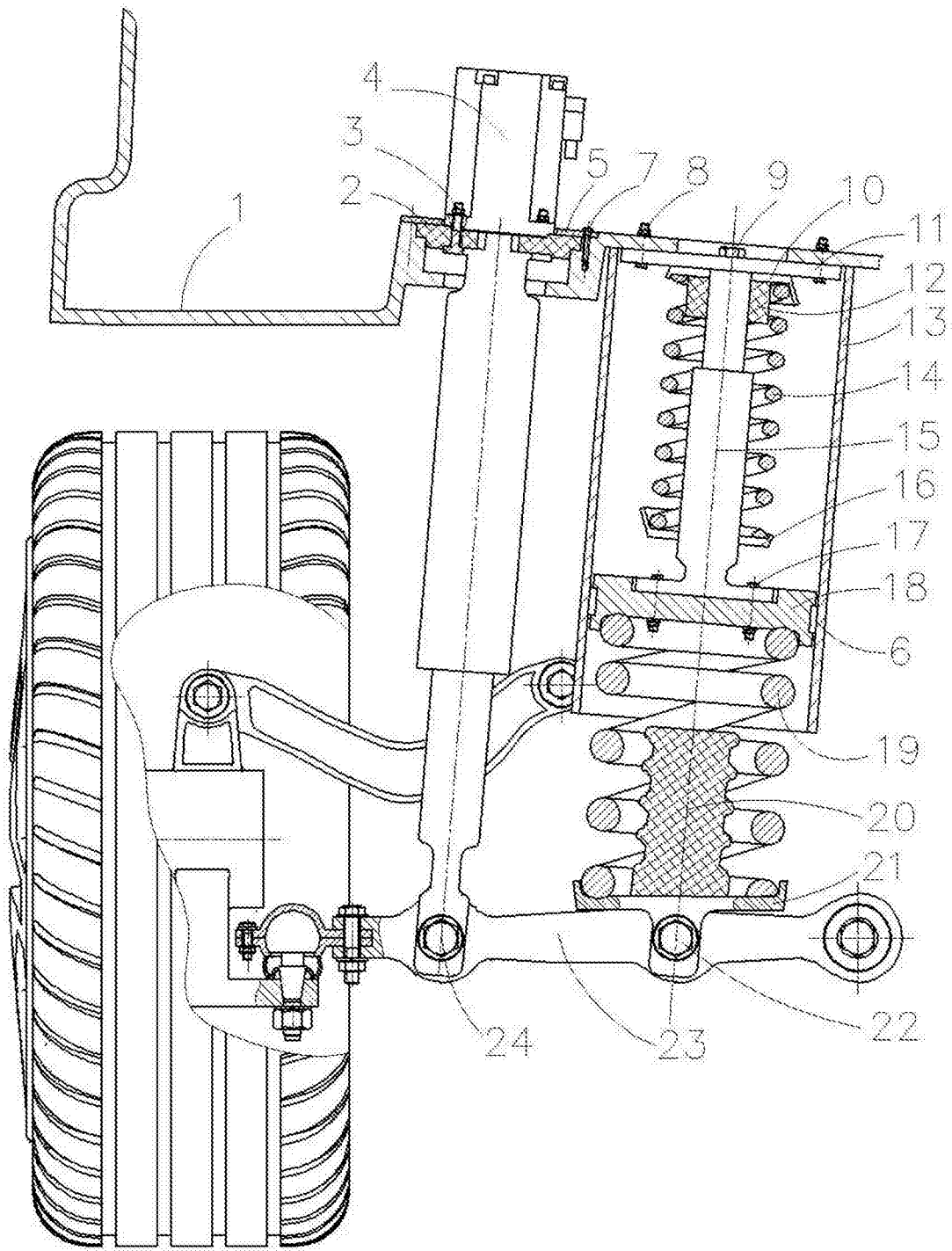


图 2

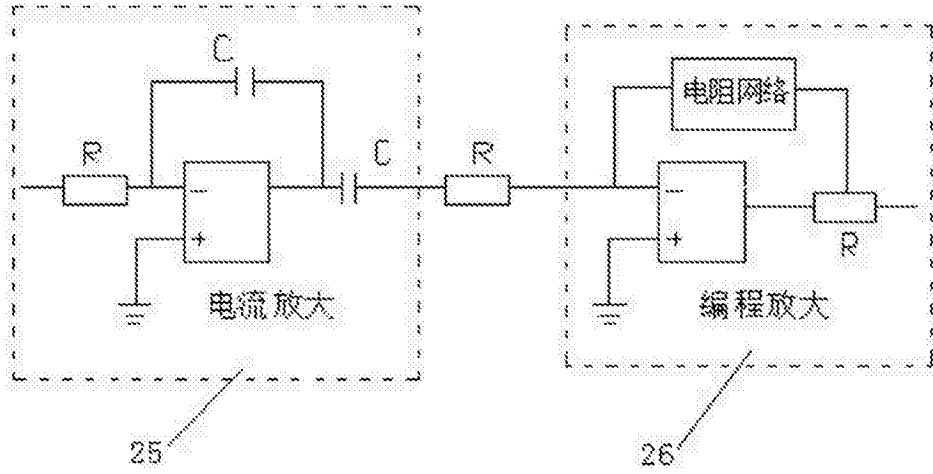


图 3



图 4

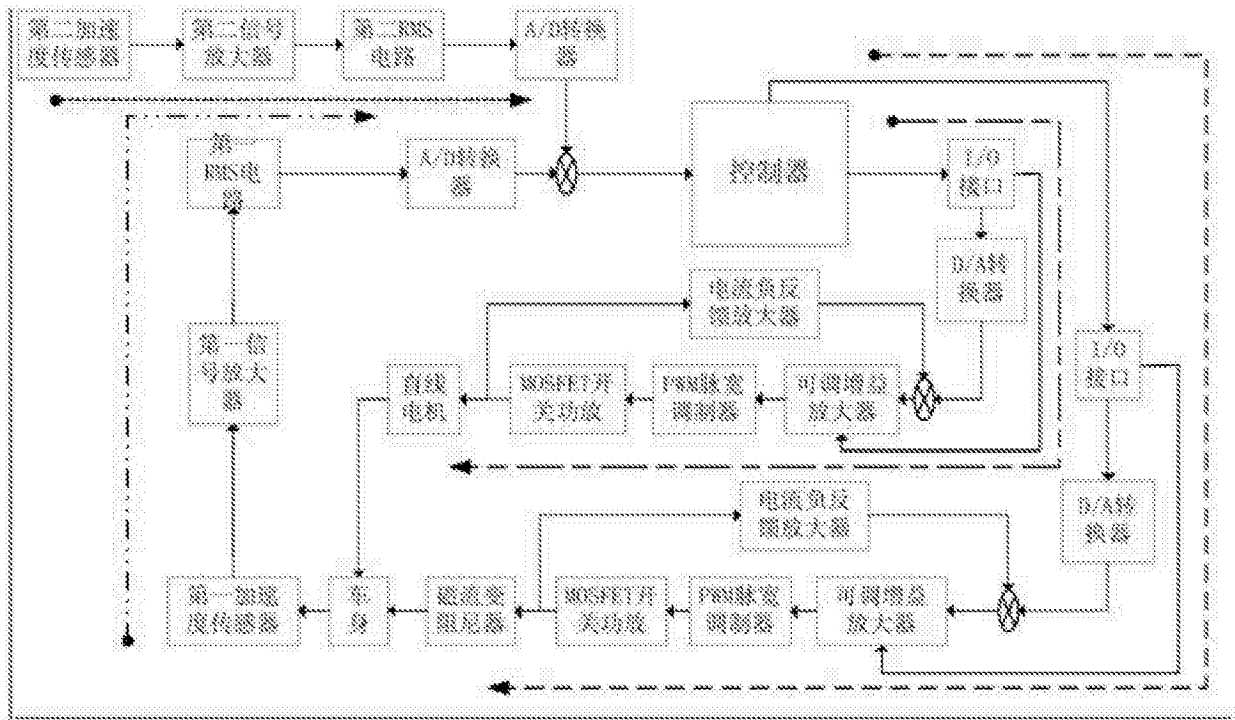


图 5