



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 105351431 B

(45) 授权公告日 2016. 05. 25

(21) 申请号 201510945800. 5

(22) 申请日 2015. 12. 17

(73) 专利权人 西安科技大学

地址 710054 陕西省西安市雁塔路中段 58 号

(72) 发明人 寇发荣

(74) 专利代理机构 西安创知专利事务所 61213

代理人 李艳春

(51) Int. Cl.

F16F 9/53(2006. 01)

审查员 宋轶群

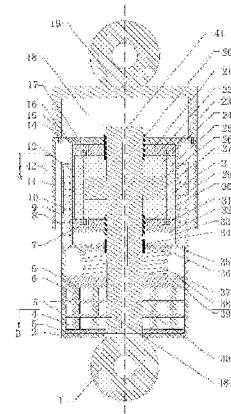
权利要求书10页 说明书25页 附图5页

(54) 发明名称

一种自供能量式车辆减振装置及其控制方法

(57) 摘要

本发明公开了一种自供能量式车辆减振装置,包括减振装置本体和减振装置控制器,减振装置本体包括第一缸体、活塞杆、压电发电单元、传力弹簧单元、磁流变阻尼单元和电磁感应单元;压电发电单元包括多个压电模块,每个压电模块中均镶嵌有多个压电振子;传力弹簧单元包括上弹簧压板、下弹簧压板、下弹簧卡座、上弹簧卡座和传力弹簧;磁流变阻尼单元包括外缸筒、内缸筒、永磁体保护罩、上阻尼通道、下阻尼通道、励磁线圈和活塞;电磁感应单元包括防漏磁套、第二缸体、永磁体和电磁感应线圈;本发明还公开了一种自供能量式车辆减振装置的控制方法。本发明馈能效率高,工作稳定性好,可靠性高,能够实时调节阻尼力,使车辆处于最佳减振状态。



1.一种自供能量式车辆减振装置,包括减振装置本体和减振装置控制器(13),所述减振装置本体包括第一缸体(2)和从下到上穿过第一缸体(2)的活塞杆(40),以及压电发电单元、传力弹簧单元、磁流变阻尼单元和电磁感应单元,其特征在于:所述压电发电单元包括设置在第一缸体(2)内底部且通过双面粘性薄铁板(5)相间粘接的多个压电模块(4),每个所述压电模块(4)中均镶嵌有多个压电振子(6);位于最底层的压电模块(4)通过双面粘性薄铁板(5)与第一缸体(2)的内底壁粘接;

所述传力弹簧单元包括间隔设置在第一缸体(2)内上部的上弹簧压板(35)和下弹簧压板(39),所述下弹簧压板(39)的底面通过双面粘性薄铁板(5)与位于最顶层的压电模块(4)粘接,所述下弹簧压板(39)的顶部固定连接有下弹簧卡座(38),所述上弹簧压板(35)的底部固定连接有上弹簧卡座(36),所述上弹簧卡座(36)与下弹簧卡座(38)之间设置有传力弹簧(37),所述传力弹簧(37)的上端与上弹簧卡座(36)固定连接,所述传力弹簧(37)的下端与下弹簧卡座(38)固定连接;

所述磁流变阻尼单元包括固定连接在上弹簧压板(35)顶部的外缸筒(14)和套装在外缸筒(14)内部的内缸筒(27),所述外缸筒(14)的下端、上弹簧压板(35)和上弹簧卡座(36)通过第一滑动轴承(34)滑动连接在活塞杆(40)中部,所述外缸筒(14)内下部设置有蓄能缓冲隔板(32)和固定连接在蓄能缓冲隔板(32)顶部的下密封端盖(31),所述蓄能缓冲隔板(32)与外缸筒(14)内底壁之间的空间为蓄能缓冲腔(33),所述蓄能缓冲隔板(32)和下密封端盖(31)通过第二滑动轴承(30)滑动连接在活塞杆(40)中部,所述外缸筒(14)内上部设置有与外缸筒(14)内顶壁固定连接的上密封端盖(21),所述外缸筒(14)顶部固定连接有罩在外缸筒(14)外部的永磁体保护罩(11),所述外缸筒(14)的上端、永磁体保护罩(11)的上端和上密封端盖(21)通过第三滑动轴承(20)滑动连接在活塞杆(40)上部,所述外缸筒(14)内位于上密封端盖(21)与下密封端盖(31)之间的空腔为填充有磁流变液(3)的磁流变阻尼腔,所述内缸筒(27)将所述磁流变阻尼腔分隔为了位于内缸筒(27)的外壁与外缸筒(14)的内壁之间的外磁流变阻尼腔(25)和位于内缸筒(27)的内壁与活塞杆(40)之间的内磁流变阻尼腔(24),所述内缸筒(27)顶部与上密封端盖(21)底部之间设置有上阻尼通道(22),所述内缸筒(27)底部与下密封端盖(31)顶部之间设置有下阻尼通道(7),所述内缸筒(27)的顶部外壁上和底部外壁上均缠绕有励磁线圈(23),所述活塞杆(40)上部固定连接有位于内磁流变阻尼腔(24)内的活塞(26);

所述电磁感应单元包括紧贴外缸筒(14)的外壁套装在外缸筒(14)外部的防漏磁套(12)和固定连接在第一缸体(2)顶部的第二缸体(8),所述第二缸体(8)罩在永磁体保护罩(11)内,所述防漏磁套(12)的外壁与第二缸体(8)的内壁之间设置有间隙,所述第二缸体(8)的内壁上间隔设置有多个永磁体(9),所述防漏磁套(12)的外壁上缠绕有电磁感应线圈(10);

所述活塞杆(40)的底部固定连接有下吊环(1),所述永磁体保护罩(11)的顶部固定连接支撑座(15),所述支撑座(15)的顶部固定连接有上吊环(19);所述减振装置控制器(13)的输入端接有用于对簧载质量位移进行检测的簧载质量位移传感器(28)和用于对非簧载质量位移进行检测的非簧载质量位移传感器(29),所述永磁体保护罩(11)的外壁上设置有控制盒(42),所述减振装置控制器(13)设置在控制盒(42)内,所述控制盒(42)内还设置有第一整流器(43)、第二整流器(44)、用于为车载蓄电池(47)充电的蓄电池充电电路

(45)和用于为励磁线圈(23)提供稳定的输入电流的可控恒流源电路(46),所述第一整流器(43)的输出端和第二整流器(44)的输出端均与蓄电池充电电路(45)连接,所述车载蓄电池(47)与蓄电池充电电路(45)的输出端连接,所述可控恒流源电路(46)与车载蓄电池(47)的输出端和减振装置控制器(13)的输出端连接,所述励磁线圈(23)与可控恒流源电路(46)的输出端连接,所述第一整流器(43)的输入端与串联后的多个压电振子(6)连接,所述第二整流器(44)的输入端与电磁感应线圈(10)连接。

2.按照权利要求1所述的一种自供能量式车辆减振装置,其特征在于:所述活塞杆(40)的轴向中心设置有供连接第一整流器(43)的输入端与串联后的多个压电振子(6)的导线穿过的活塞杆中心孔(41),所述活塞杆(40)的下部开有与活塞杆中心孔(41)相连通且供连接第一整流器(43)的输入端与串联后的多个压电振子(6)的导线穿过的活塞杆过线孔(18);所述永磁体保护罩(11)上端开有供连接励磁线圈(23)与可控恒流源电路(46)的输出端的导线穿过的第一保护罩过线孔(16),以及供连接第二整流器(44)的输入端与电磁感应线圈(10)的导线穿过的第二保护罩过线孔(17)。

3.按照权利要求1所述的一种自供能量式车辆减振装置,其特征在于:所述第二缸体(8)的内径大于第一缸体(2)的内径。

4.按照权利要求1所述的一种自供能量式车辆减振装置,其特征在于:所述压电模块(4)的数量为三个,所述压电模块(4)的形状为圆柱形,每个所述压电模块(4)中均镶嵌有十二个压电振子(6),十二个压电振子(6)分两组后以压电模块(4)的几何中心为圆心呈环形均匀布设。

5.按照权利要求1所述的一种自供能量式车辆减振装置,其特征在于:所述双面粘性薄铁板(5)的厚度为0.15mm~0.5mm。

6.一种对如权利要求1所述的自供能量式车辆减振装置进行控制的方法,其特征在于,该方法包括以下步骤:

步骤一、当车辆行驶在不平路面上时,上吊环(19)与下吊环(1)产生相对运动,上吊环(19)运动带动支撑座(15)一块运动,从而带动所述磁流变阻尼模块运动,此时内磁流变阻尼腔(24)的上下体积发生变化,当所述磁流变阻尼模块向下运动时,内磁流变阻尼腔(24)的下体积减小,上体积增大,磁流变液(3)从内磁流变阻尼腔(24)经过下阻尼通道(7)和上阻尼通道(22)流到外磁流变阻尼腔(25)中,当所述磁流变阻尼模块向上运动时,内磁流变阻尼腔(24)的下体积增大,上体积减小,磁流变液(3)从外磁流变阻尼腔(25)经过上阻尼通道(22)和下阻尼通道(7)流到内磁流变阻尼腔(24)中,使所述车辆减振装置产生阻尼力;一方面,所述磁流变阻尼模块运动时,带动电磁感应线圈(10)相对于永磁体(9)产生运动,切割磁感线产生电能并通过第二整流器(44)整流后,再经过蓄电池充电电路(45)给车载蓄电池(47)充电,车载蓄电池(47)输出电能给可控恒流源电路(46),再供给励磁线圈(23);另一方面,所述磁流变阻尼模块运动时,带动下弹簧压板(35)和上弹簧卡座(36)运动,进一步通过传力弹簧(37)实现减振,并把力传递给下弹簧压板(39)和下弹簧卡座(38),再作用到压电模块(4)上,使压电振子(6)发生正压电效应,产生电能并通过第一整流器(43)整流后,再经过蓄电池充电电路(45)给车载蓄电池(47)充电,车载蓄电池(47)输出电能给可控恒流源电路(46),再供给励磁线圈(23);同时,簧载质量位移传感器(28)对簧载质量位移进行实时检测,非簧载质量位移传感器(29)对非簧载质量位移进行实时检测;减振装置控制器(13)

对簧载质量位移和非簧载质量位移进行周期性采样；

步骤二、减振装置控制器(13)根据公式 $e_i = X_s^i - X_u^i$ 对其第 i 次采样得到的簧载质量位移 X_s^i 和非簧载质量位移 X_u^i 作差, 得到第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i ; 其中, i 的取值为自然数;

步骤三、减振装置控制器(13)根据公式 $e_c^i = \frac{de_i}{dt}$ 对第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 求导, 得到第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i ;

步骤四、减振装置控制器(13)根据公式 $E_i = e_i \times K_1^i$ 对第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 进行量化, 得到偏差 e_i 的量化量 E_i ; 其中, K_1^i 为第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 的量化因子, K_1^i 的取值方法为: 当 $i = 1$ 时, $K_1^i = K_1^1 = 120$; 当 $i > 1$ 且 $|e_i| < 0.02$ 时, $K_1^i = 1.2 \times K_1^{i-1} \times e_i$; 当 $i > 1$ 且 $0.02 \leq |e_i| \leq 0.04$ 时, $K_1^i = 0.78 \times K_1^{i-1} \times e_i$; 当 $i > 1$ 且 $|e_i| > 0.04$ 时, $K_1^i = 1.1 \times K_1^{i-1} \times e_i$; 偏差 e_i 的量化量 E_i 的论域为 $[-6, 6]$;

步骤五、减振装置控制器(13)根据公式 $E_c^i = e_c^i \times K_2^i$ 对第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 进行量化, 得到偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i ; 其中, K_2^i 为第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化因子, K_2^i 的取值方法为: 当 $i = 1$ 时, $K_2^i = K_2^1 = 6$; 当 $i > 1$ 且 $|e_c^i| < 0.08$ 时, $K_2^i = 1.8 \times K_2^{i-1} \times e_c^i$; 当 $i > 1$ 且 $0.08 \leq |e_c^i| \leq 0.6$ 时, $K_2^i = 1.5 \times K_2^{i-1} \times e_c^i$; 当 $i > 1$ 且 $|e_c^i| > 0.6$ 时, $K_2^i = 1.75 \times K_2^{i-1} \times e_c^i$; 偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的论域为 $[-6, 6]$;

步骤六、减振装置控制器(13)对偏差 e_i 的量化量 E_i 按照四舍五入的方法进行整数化, 得到偏差 e_i 的量化量 E_i 的整数化结果 \bar{E}_i , 并将偏差 e_i 的量化量 E_i 的整数化结果 \bar{E}_i 作为模糊控制的第一个输入 E'_i ;

步骤七、减振装置控制器(13)对偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 按照四舍五入的方法进行整数化, 得到偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的整数化结果 \bar{E}_c^i 作为模糊控制的第二个输入 \bar{E}_c^i ;

步骤八、减振装置控制器(13)根据模糊控制的第一个输入 E'_i 和模糊控制的第二个输入 \bar{E}_c^i , 查询存储在减振装置控制器(13)内部存储器中的由减振装置控制器(13)预先制定好的模糊控制查询表, 得到模糊控制的输出 Γ_i ;

步骤九、减振装置控制器(13)根据公式 $I_i = \Gamma_i \times K_3^i$ 对模糊控制的输出 Γ_i 进行调整, 得到励磁线圈(23)需要的输入电流 I_i , 即减振装置控制器(13)控制可控恒流源电路(46)的输出电流 I_i , 并控制可控恒流源电路(46)的输出电流为 I_i , 实时调节励磁线圈(23)的输入电

流,从而使励磁线圈(23)产生强度可变的磁场作用于磁流变液(3),使磁流变液(3)的特性发生变化,实时调节磁流变液(3)产生的阻尼力,进而实时调节所述车辆减振装置产生的阻尼力;其中, K_3^i 为对模糊控制的输出 Γ_i 进行调整的比例因子, K_3^i 的取值方法为:当 $i=1$ 时, $K_3^i=K_3^1=0.5$;当 $i>1$ 且 $|e_i|<0.02$ 或 $|e_c^i|<0.08$ 时, $K_3^i=0.9\times K_3^{i-1}$;当 $i>1$ 且 $0.02\leq|e_i|\leq 0.04$ 或 $0.08\leq|e_c^i|\leq 0.6$ 时, $K_3^i=1.2\times K_3^{i-1}$;当 $i>1$ 且 $|e_i|>0.04$ 或 $|e_c^i|>0.6$ 时, $K_3^i=1.0\times K_3^{i-1}$ 。

7.按照权利要求6所述的方法,其特征在于:步骤八中所述减振装置控制器(13)预先制定模糊控制查询表的过程为:

步骤801、簧载质量位移传感器对簧载质量位移进行实时检测,非簧载质量位移传感器对非簧载质量位移进行实时检测,减振装置控制器(13)对簧载质量位移传感器检测到的簧载质量位移信号和非簧载质量位移传感器检测到的非簧载质量位移信号进行周期性采样;

步骤802、减振装置控制器(13)根据公式 $e_i=X_s^i-X_u^i$ 对其第 i 次采样得到的簧载质量位移信号 X_s^i 和非簧载质量位移信号 X_u^i 作差,得到第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i ;其中, i 的取值为自然数;

步骤803、减振装置控制器(13)根据公式 $e_c^i=\frac{de_i}{dt}$ 对第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 求导,得到第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i ;

步骤804、减振装置控制器(13)根据公式 $E_i=e_i\times K_1^i$ 对第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 进行量化,得到偏差 e_i 的量化量 E_i ;其中, K_1^i 为第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 的量化因子, K_1^i 的取值方法为:当 $i=1$ 时, $K_1^i=K_1^1=120$;当 $i>1$ 且 $|e_i|<0.02$ 时, $K_1^i=1.2\times K_1^{i-1}\times e_i$;当 $i>1$ 且 $0.02\leq|e_i|\leq 0.04$ 时, $K_1^i=0.78\times K_1^{i-1}\times e_i$;当 $i>1$ 且 $|e_i|>0.04$ 时, $K_1^i=1.1\times K_1^{i-1}\times e_i$;偏差 e_i 的量化量 E_i 的论域为 $[-6,6]$;

步骤805、减振装置控制器(13)根据公式 $E_c^i=e_c^i\times K_2^i$ 对第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 进行量化,得到偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i ;其中, K_2^i 为第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化因子, K_2^i 的取值方法为:当 $i=1$ 时, $K_2^i=K_2^1=6$;当 $i>1$ 且 $|e_c^i|<0.08$ 时, $K_2^i=1.8\times K_2^{i-1}\times e_c^i$;当 $i>1$ 且 $0.08\leq|e_c^i|\leq 0.6$ 时, $K_2^i=1.5\times K_2^{i-1}\times e_c^i$;当 $i>1$ 且 $|e_c^i|>0.6$ 时, $K_2^i=1.75\times K_2^{i-1}\times e_c^i$;偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的论域为 $[-6,6]$;

步骤806、减振装置控制器(13)对偏差 e_i 的量化量 E_i 进行模糊化处理,其具体过程如下:

步骤8061、定义偏差 e_i 的量化量 E_i 的模糊状态集合为{正大、正中、正小、零、负小、负中、负大};

步骤8062、减振装置控制器(13)根据偏差 e_i 的量化量 E_i 的三角形隶属函数

$$\text{trimf}(E_i, a_1, b_1, c_1) = \begin{cases} 0, & E_i \leq a_1 \\ \frac{E_i - a_1}{b_1 - a_1}, & a_1 \leq E_i \leq b_1 \\ \frac{c_1 - E_i}{c_1 - b_1}, & b_1 \leq E_i \leq c_1 \\ 0 & c_1 \leq E_i \end{cases} \quad \text{计算得到偏差 } e_i \text{ 的量化量 } E_i \text{ 对应的模糊状态的隶}$$

属度值 $\text{trimf}(E_i, a_1, b_1, c_1)$, 并根据最大隶属度原则确定偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态, 且当偏差 e_i 的量化量 E_i 在两种不同的模糊状态下对应的隶属度值相等时, 选取小于偏差 e_i 的量化量 E_i 的数据对应的模糊状态为偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态; 其中, a_1 为偏差 e_i 的量化量 E_i 的三角形隶属函数对应的三角形底边左顶点的横坐标, b_1 为偏差 e_i 的量化量 E_i 的三角形隶属函数对应的三角形底边右顶点的横坐标, c_1 为偏差 e_i 的量化量 E_i 的三角形隶属函数对应的三角形上部顶点的横坐标; 当模糊状态为正大时, $a_1=4, b_1=6, c_1=8$; 当模糊状态为正中时, $a_1=2, b_1=4, c_1=6$; 当模糊状态为正小时, $a_1=0, b_1=2, c_1=4$; 当模糊状态为零时, $a_1=-2, b_1=0, c_1=2$; 当模糊状态为负小时, $a_1=-4, b_1=-2, c_1=0$; 当模糊状态为负中时, $a_1=-6, b_1=-4, c_1=-2$; 当模糊状态为负大时, $a_1=-8, b_1=-6, c_1=-4$;

步骤807、减振装置控制器(13)对偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 进行模糊化处理, 其具体过程如下:

步骤8071、定义偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的模糊状态集合为{正大、正中、正小、零、负小、负中、负大};

步骤8072、减振装置控制器(13)根据偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的三角形隶

$$\text{trimf}(E_c^i, a_2, b_2, c_2) = \begin{cases} 0, & E_c^i \leq a_2 \\ \frac{E_c^i - a_2}{b_2 - a_2}, & a_2 \leq E_c^i \leq b_2 \\ \frac{c_2 - E_c^i}{c_2 - b_2}, & b_2 \leq E_c^i \leq c_2 \\ 0 & c_2 \leq E_c^i \end{cases} \quad \text{计算得到偏差 } e_i \text{ 随时间 } t \text{ 的变化率 } e_c^i \text{ 的}$$

量化量 E_c^i 对应的模糊状态的隶属度值 $\text{trimf}(E_c^i, a_2, b_2, c_2)$, 并根据最大隶属度原则确定偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态, 且当偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 在两种不同的模糊状态下对应的隶属度值相等时, 选取小于偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的数据对应的模糊状态为偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态; 其中, a_2 为偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的三角形隶属函数对应的三角形底边左顶点的横坐标, b_2 为偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的三角形隶属函数对应的三角形底边右顶点的横坐标, c_2 为偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的三角形隶属函数对应的三角形上部顶点的横坐标; 当模糊状态为正大时, $a_2=4, b_2=6, c_2=8$; 当模糊状态为正中时, $a_2=2, b_2=4, c_2=6$; 当模糊状态为正小时, $a_2=0, b_2=2, c_2=4$; 当模糊状态为零

时, $a_2 = -2, b_2 = 0, c_2 = 2$; 当模糊状态为负小时, $a_2 = -4, b_2 = -2, c_2 = 0$; 当模糊状态为负中时, $a_2 = -6, b_2 = -4, c_2 = -2$; 当模糊状态为负大时, $a_2 = -8, b_2 = -6, c_2 = -4$;

步骤808、定义模糊控制的输出 Γ_i 的模糊状态集合为{正大、正中、正小、零、负小、负中、负大}, 制定模糊控制根据偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态得到模糊控制的输出 Γ_i 的模糊状态的模糊控制规则, 并根据所述模糊控制规则确定模糊控制的输出 Γ_i 的模糊状态;

其中, 当第 i 次采样得到的簧载质量位移信号 X_s^i 和非簧载质量位移信号 X_u^i 的差值的绝对值大于 20mm 时, 所述模糊控制规则为:

当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为负大和负大、或负中和负大、或负小和负大、或零和负大、或负大和负中、或负中和负中、或负小和负中时, 所述模糊控制的输出 Γ_i 为正大;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为负大和负小、或负中和负小、或负小和负小、或零和负小、或负大和零时, 所述模糊控制的输出 Γ_i 为正中;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为负中和零、或负小和零、或负大和正小、或负中和正小时, 所述模糊控制的输出 Γ_i 为正小;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为正中和负大、或正大和负大、或正中和负中、或正小和负小、或零和零、或负大和正中、或负中和正中、或负大和正大、或负中和正大时, 所述模糊控制的输出 Γ_i 为零;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为正大和负中、或正中和负小、或正大和负小、或正小和零时, 所述模糊控制的输出 Γ_i 为负小;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为正中和零、或正大和零、或零和正小、或正小和正小、或正中和正小、或正大和正小、或负小和正中、或正小和正中、或负小和正大时, 所述模糊控制的输出 Γ_i 为负中;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为零和正中、或正中和正中、或正大和正中、或零和正大、或正小和正大、或正中和正大、或正大和正大时, 所述模糊控制的输出 Γ_i 为负大;

当第 i 次采样得到的簧载质量位移信号 X_s^i 和非簧载质量位移信号 X_u^i 的差值的绝对值小于等于 20mm 时, 所述模糊控制规则为:

当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为负大和负小、或负大和零、或负大和正小、或负中和负小、或负中和零时, 所述模糊控制的输出 Γ_i 为正大;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的

模糊状态分别为负大和负大、或负大和负中、或负大和正中、或负大和正大、或负中和负中、或负中和正小、或负中和正中、或负小和负小、或负小和零、或负小和正小、或负小和正中时,所述模糊控制的输出 Γ_i 为正中;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为负中和负大、或负中和正大、或负小和负中、或负小和正大、或零和正小、或零和正中、或零和正大时,所述模糊控制的输出 Γ_i 为正小;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为负小和负大、或零和零、或正小和正大时,所述模糊控制的输出 Γ_i 为零;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为零和负大、或零和负中、或零和负小、或正小和负大、或正小和正中、或正中和负大、或正中和正大时,所述模糊控制的输出 Γ_i 为负小;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为正小和负中、或正小和负小、或正小和零、或正小和正小、或正中和负中、或正中和负小、或正中和正中、或正大和负大、或正大和负中、或正大和正中、或正大和正大时,所述模糊控制的输出 Γ_i 为负中;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为正中和零、或正中和正小、或正大和负小、或正大和零、或正大和正小时,所述模糊控制的输出 Γ_i 为负大;

步骤809、对所述模糊控制的输出 Γ_i 的模糊状态进行反模糊化处理,其具体过程为:

步骤8091、当第 i 次采样得到的簧载质量位移信号 X_s^i 和非簧载质量位移信号 X_u^i 的差值的绝对值大于20mm时,定义所述模糊控制的输出 Γ_i 的论域为 $[-7, 7]$;当第 i 次采样得到的簧载质量位移信号 X_s^i 和非簧载质量位移信号 X_u^i 的差值的绝对值小于等于20mm时,定义所述模糊控制的输出 Γ_i 的论域为 $[-6, 6]$;

步骤8092、减振装置控制器(13)根据模糊控制的输出 Γ_i 的三角形隶属函数

$$\text{trimf}(\Gamma_i, a_3, b_3, c_3) = \left. \begin{cases} 0, & \Gamma_i \leq a_3 \\ \frac{\Gamma_i - a_3}{b_3 - a_3}, & a_3 \leq \Gamma_i \leq b_3 \\ \frac{c_3 - \Gamma_i}{c_3 - b_3}, & b_3 \leq \Gamma_i \leq c_3 \\ 0 & c_3 \leq \Gamma_i \end{cases} \right\} \text{计算得到模糊控制的输出 } \Gamma_i \text{ 的各个模糊状态}$$

下模糊控制的输出 Γ_i 的论域中每个整数对应的隶属度值 $\text{trimf}(\Gamma_i, a_3, b_3, c_3)$,并将某个模糊状态下模糊控制的输出 Γ_i 的论域中各个整数对应的隶属度值中的最大值所对应的模糊控制的输出 Γ_i 的值确定为所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果;其中, a_3 为模糊控制的输出 Γ_i 的三角形隶属函数对应的三角形底边左顶点的横坐标, b_3 为模糊控制的输出 Γ_i 的三角形隶属函数对应的三角形底边右顶点的横坐标, c_3 为模糊控制的输出 Γ_i 的三角形隶属函数对应的三角形上部顶点的横坐标;当模糊状态为正大时, $a_3=5, b_3=7, c_3=9$;当模糊状态为正中时, $a_3=3, b_3=5, c_3=7$;当模糊状态为正小时, $a_3=0, b_3=3, c_3=5$;当模糊状态为

零时, $a_3 = -3, b_3 = 0, c_3 = 2$; 当模糊状态为负小时, $a_3 = -5, b_3 = -2, c_3 = 0$; 当模糊状态为负中时, $a_3 = -7, b_3 = -5, c_3 = -3$; 当模糊状态为负大时, $a_3 = -9, b_3 = -7, c_3 = -5$;

步骤8010、重复步骤801到步骤809, 直到得到偏差 e_i 的量化量 E_i 的论域 $[-6, 6]$ 内的13个整数与偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的论域 $[-6, 6]$ 内的13个整数的169种组合与前述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果的一一对应关系;

步骤8011、将偏差 e_i 的量化量 E_i 的论域 $[-6, 6]$ 内的13个整数与偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的论域 $[-6, 6]$ 内的13个整数的169种组合与前述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果的一一对应关系制定成模糊控制查询表。

8. 按照权利要求7所述的方法, 其特征在于: 当第 i 次采样得到的簧载质量位移信号 X_s^i 和非簧载质量位移信号 X_u^i 的差值的绝对值大于20mm时, 步骤8011中所述模糊控制查询表用语言描述为:

当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-6和-6, 或-6和-4, 或-6和-2, 或-6和-1, 或-6和0, 或-4和-6, 或-4和-4, 或-4和-2, 或-4和-1, 或-4和0, 或-3和-6时, 输出 Γ_i 反模糊化的结果为7;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-6和-5, 或-6和-3, 或-5和-6, 或-5和-5, 或-5和-4, 或-5和-3, 或-5和-2, 或-5和-1, 或-5和0, 或-4和-5, 或-4和-3, 或-3和-5, 或-3和-4, 或-3和-3, 或-3和-2, 或-3和-1, 或-3和0时, 输出 Γ_i 反模糊化的结果为6;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-2和-3, 或-1和-3, 或0和-3时, 输出 Γ_i 反模糊化的结果为5;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-6和1, 或-5和1, 或-4和1, 或-6和2, 或-5和2, 或-4和2, 或-2和-6, 或-1和-6, 或0和-6, 或-2和-5, 或-1和-5, 或0和-5, 或-2和-4, 或-1和-4, 或0和-4, 或-1和-5, 或-2和-2, 或-1和-2, 或-2和-1, 或-1和-1, 或-2和0时, 输出 Γ_i 反模糊化的结果为4;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-3和1时, 输出 Γ_i 反模糊化的结果为3;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为1和-6, 或1和-5, 或2和-5, 或1和-4, 或1和-3, 或2和-3, 或-3和2, 或-6和3, 或-5和3, 或-4和3时, 输出 Γ_i 反模糊化的结果为2;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为2和-6, 或2和-4, 或0和-2, 或0和-1, 或-1和0, 或-2和1, 或2和-3时, 输出 Γ_i 反模糊化的结果为1;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为3和-6, 或4和-6, 或5和-6, 或6和-6, 或3和-5, 或4和-5, 或5和-5, 或6和-5, 或3和-4, 或4和-4, 或6和-4, 或3和-3, 或1和-2, 或2和-2, 或3和-4, 或1和-1, 或-2和2, 或-1和2, 或-3和3, 或-2和3, 或-1和3, 或-6和4, 或-5和4, 或-4和4, 或-6和5, 或-5和5, 或-4和5, 或-6和6, 或-5和6, 或-4和6

时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为0;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为1和0,或0和1,或0和2,或0和3,或-3和4,或-2和4,或-3和5,或-2和5,或-3和6,或-2和6,或-1和6时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为-1;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为4和-3,或5和-3,或6和-3,或-1和5时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为-2;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为3和-2,或2和-1,或3和-1,或1和3,或2和3,或-1和4时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为-3;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为4和-2,或5和-2,或6和-2,或4和-1,或5和-1,或6和-1,或2和0,或1和1,或2和1,或1和2,或2和2,或0和4,或1和4,或2和4,或0和5,或1和5,或2和5,或0和6,或1和6,或2和6时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为-4;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为3和0,或5和0,或3和1,或5和1,或3和2,或5和2,或3和3,或4和3,或5和3,或6和3,或3和4,或5和4,或3和5,或4和5,或5和5,或6和5,或3和6,或5和6时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为-6;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为4和0,或6和0,或4和1,或6和1,或4和2,或6和2,或4和4,或6和4,或4和6,或6和6时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为-7;

当第 i 次采样得到的簧载质量位移信号 X_c^i 和非簧载质量位移信号 X_u^i 的差值的绝对值小于等于20mm时,步骤8011中所述模糊控制查询表用语言描述为:

当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-6和-2,或-6和-1,或-6和0,或-6和1,或-6和2,或-5和-3,或-5和-2,或-5和-1,或-5和0,或-4和-2,或-4和-1,或-4和0,或-3和0时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为6;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-6和-5,或-6和-4,或-6和-3,或-6和3,或-6和4,或-6和5,或-6和6,或-5和-4,或-4和1,或-5和1,或-5和2,或-5和3,或-5和4,或-4和-4,或-4和-3,或-4和1,或-4和2,或-4和3,或-4和4,或-3和-2,或-3和-1,或-3和1,或-3和2,或-3和3,或-3和4,或-2和-2,或-2和-1,或-2和1,或-2和2,或-2和3,或-2和4,或2和-4时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为5;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-5和-6,或-5和-5,或-5和5,或-5和6,或-4和-5,或-4和5,或-3和-4,或-3和-3,或-3和5,或-2和-3,或-2和0,或-2和5,或-1和2,或-1和3,或-1和4,或-1和5时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为4;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-4和-6,或-4和6,或-3和-5,或-3和6,或-2和-4,或-2和6,或-1和0,或-1和1,或-1和6,或0和2,或0和3,或0和4,或0和5,或0和6时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为2;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-3和-6,或-2

和-5,或-1和-3,或-1和-2,或-1和-1,或0和1,或1和6时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为1;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-2和-6,或-1和-5,或-1和-4,或0和0,或1和4,或1和5,或2和6时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为0;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-1和-6,或0和-1,或1和1,或1和2,或1和3,或2和5,或3和6时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为-1;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为0和-6,或0和-5,或0和-4,或0和-3,或0和-2,或1和-1,或1和0,或1和-6,或2和-6,或2和4,或3和-6,或3和5,或4和-6,或4和6时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为-2;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为1和-5,或1和-4,或1和-3,或1和-2,或2和-5,或2和3,或3和-5,或3和3,或3和4,或4和-5,或4和5,或5和-6,或5和-5,或5和5,或5和6,或1和5,或2和5,或0和6,或1和6,或2和6时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为-4;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为2和-4,2和-3,或2和-2,或2和-1,或2和0,或2和1,或2和2,或3和-4,或3和-3,或3和-2,或3和-1,或3和0,或3和1,或3和2,或4和-4,或4和-3,或4和-2,或4和-1,或4和3,或4和4,或5和-4,或5和-3,或5和-2,或5和-1,或5和3,或5和4,或6和-6,或6和-5,或6和-4,或6和-3,或6和3,或6和4,或6和5,或6和6时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为-5;

当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为或4和0,或4和1,或4和2,或5和0,或5和1,或5和2,或6和-2,或6和-1,或6和0,或6和1,或6和2时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为-6。

一种自供能量式车辆减振装置及其控制方法

技术领域

[0001] 本发明属于车辆减振装置技术领域,具体涉及一种自供能量式车辆减振装置及其控制方法。

背景技术

[0002] 磁流变液是一种理想的智能材料,它在磁场的作用下可以在短时间内由流动良好的液体变为粘性流体,具有一定的屈服特性,其屈服强度随磁场强度的增加而增加,应用磁流变液的这一特性制造的磁流变阻尼器,在外加磁场的作用下,其阻尼特性具有变化范围大,容易控制等优点,配合一定的控制策略,磁流变阻尼器能成为一种性能优良理想的半主动控制阻尼器,同现有的阻尼器相比,可以通过实时控制通入励磁线圈中的电流达到控制阻尼力的目的。

[0003] 由于磁流变阻尼器具有响应快、阻尼力大、能量需求小、机构简单、耐久性好的特点,即使在控制系统失效的情况下仍可充当被动控制器件,具有很强的可靠性、实用性。可以广泛应用于各种车辆、直升机、健身器械、土木建筑、大跨结构(架、梁、桥)等处,而且,磁流变液体的剪切屈服应力是电流变材料剪切屈服应力的38~50倍,这样,磁流变器件可以比电流变器件体积要小得多,对杂质影响不敏感。但是,其还是一种半主动控制装置,需要消耗一部分能量,限制了磁流变阻尼器的推广,为了解决这一问题,有人提出了自供能量式磁流变阻尼器,结构上虽然有点简单,但是响应慢、可靠性差、能耗大、提供的所需实时阻尼力不足、自供能量有限等缺陷。

[0004] 例如申请号为201310471102.7的中国发明专利公开了一种自供电磁流变阻尼器,该自供电阻尼器主要包括缸筒、定位筒、补偿单元、空心线圈和永磁体等,其补偿单元设置在定位筒内,空心线圈设置在定位筒下腔体内,永磁体设置在空心线圈的内腔并与补偿单元固定,一方面,由于补偿单元存在滞后现象,与其固定当活塞往复运动时,补偿单元带动永磁体在空心线圈的内腔往复运动将机械能转化为的电能,不但不稳定而且不能满足其阻尼器自身的能量需求,另一面,永磁体切割磁感线产生的磁场对磁流变液产生干涉影响,同时其设计的磁流变液流动式所通过的磁场路径较短,不能更好的提供发挥作用所需的有效磁场,又例如申请号为200910103744.5的中国发明专利申请公开了一种自供电磁流变阻尼器,其通过阻尼器运动时磁流变液对多个叶片的冲刷把直线运动转变为蝶形转子的转动、从而改变蝶形转子上线圈的磁通量即磁场强度的变化,实现机械能向电能的转化,但是该结构的叶片必须加工成特殊的形状,加工复杂,同时由于所处环境原因,其所受离心力作用的大小有限,造成叶片转速受限,能量转化效率较低,也不能满足所需电能的需求,其励磁线圈产生的磁场利用率有限。

发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题在于针对上述现有技术中的不足,提供一种结构紧凑、设计新颖合理、实现方便、馈能效率高、工作稳定性和可靠性高、能够实时输出所需阻尼

力、使减振时处于最佳的状态、实用性强,使用前景广阔、便于推广使用的自供能量式车辆减振装置。

[0006] 为解决上述技术问题,本发明采用的技术方案是:一种自供能量式车辆减振装置,其特征在于:包括减振装置本体和减振装置控制器,所述减振装置本体包括第一缸体和从下到上穿过第一缸体的活塞杆,以及压电发电单元、传力弹簧单元、磁流变阻尼单元和电磁感应单元;

[0007] 所述压电发电单元包括设置在第一缸体内底部且通过双面粘性薄铁板相间粘接的多个压电模块,每个所述压电模块中均镶嵌有多个压电振子;位于最底层的压电模块通过双面粘性薄铁板与第一缸体的内底壁粘接;

[0008] 所述传力弹簧单元包括间隔设置在第一缸体内上部的上弹簧压板和下弹簧压板,所述下弹簧压板的底面通过双面粘性薄铁板与位于最顶层的压电模块粘接,所述下弹簧压板的顶部固定连接有下弹簧卡座,所述上弹簧压板的底部固定连接有上弹簧卡座,所述上弹簧卡座与下弹簧卡座之间设置有传力弹簧,所述传力弹簧的上端与上弹簧卡座固定连接,所述传力弹簧的下端与下弹簧卡座固定连接;

[0009] 所述磁流变阻尼单元包括固定连接在上弹簧压板顶部的外缸筒和套装在外缸筒内部的内缸筒,所述外缸筒的下端、上弹簧压板和上弹簧卡座通过第一滑动轴承滑动连接在活塞杆中部,所述外缸筒内下部设置有蓄能缓冲隔板和固定连接在蓄能缓冲隔板顶部的下密封端盖,所述蓄能缓冲隔板与外缸筒内底壁之间的空间为蓄能缓冲腔,所述蓄能缓冲隔板和下密封端盖通过第二滑动轴承滑动连接在活塞杆中部,所述外缸筒内上部设置有与外缸筒内顶壁固定连接的上密封端盖,所述外缸筒顶部固定连接有罩在外缸筒外部的永磁体保护罩,所述外缸筒的上端、永磁体保护罩的上端和上密封端盖通过第三滑动轴承滑动连接在活塞杆上部,所述外缸筒内位于上密封端盖与下密封端盖之间的空腔为填充有磁流变液的磁流变阻尼腔,所述内缸筒将所述磁流变阻尼腔分隔为了位于内缸筒的外壁与外缸筒的内壁之间的外磁流变阻尼腔和位于内缸筒的内壁与活塞杆之间的内磁流变阻尼腔,所述内缸筒顶部与上密封端盖底部之间设置有上阻尼通道,所述内缸筒底部与下密封端盖顶部之间设置有以下阻尼通道,所述内缸筒的顶部外壁上和底部外壁上均缠绕有励磁线圈,所述活塞杆上部固定连接有位于内磁流变阻尼腔内的活塞;

[0010] 所述电磁感应单元包括紧贴外缸筒的外壁套装在外缸筒外部的防漏磁套和固定连接在第一缸体顶部的第二缸体,所述第二缸体罩在永磁体保护罩内,所述防漏磁套的外壁与第二缸体的内壁之间设置有间隙,所述第二缸体的内壁上间隔设置有多个永磁体,所述防漏磁套的外壁上缠绕有电磁感应线圈;

[0011] 所述活塞杆的底部固定连接有以下吊环,所述永磁体保护罩的顶部固定连接有以下支撑座,所述支撑座的顶部固定连接有以下吊环;所述减振装置控制器的输入端接有用于对簧载质量位移进行检测的簧载质量位移传感器和用于对非簧载质量位移进行检测的非簧载质量位移传感器,所述永磁体保护罩的外壁上设置有控制盒,所述减振装置控制器设置在控制盒内,所述控制盒内还设置有第一整流器、第二整流器、用于为车载蓄电池充电的蓄电池充电电路和用于为励磁线圈提供稳定的输入电流的可控恒流源电路,所述第一整流器的输出端和第二整流器的输出端均与蓄电池充电电路连接,所述车载蓄电池与蓄电池充电电路的输出端连接,所述可控恒流源电路与车载蓄电池的输出端和减振装置控制器的输出端连

接,所述励磁线圈与可控恒流源电路的输出端连接,所述第一整流器的输入端与串联后的多个压电振子连接,所述第二整流器的输入端与电磁感应线圈连接。

[0012] 上述的一种自供能量式车辆减振装置,其特征在于:所述活塞杆的轴向中心设置有供连接第一整流器的输入端与串联后的多个压电振子的导线穿过的活塞杆中心孔,所述活塞杆的下部开有与活塞杆中心孔相通且供连接第一整流器的输入端与串联后的多个压电振子的导线穿过的活塞杆过线孔;所述永磁体保护罩上端开有供连接励磁线圈与可控恒流源电路的输出端的导线穿过的第一保护罩过线孔,以及供连接第二整流器的输入端与电磁感应线圈的导线穿过的第二保护罩过线孔。

[0013] 上述的一种自供能量式车辆减振装置,其特征在于:所述第二缸体的内径大于第一缸体的内径。

[0014] 上述的一种自供能量式车辆减振装置,其特征在于:所述压电模块的数量为三个,所述压电模块的形状为圆柱形,每个所述压电模块中均镶嵌有十二个压电振子,十二个压电振子分两组后以压电模块的几何中心为圆心呈环形均匀布设。

[0015] 上述的一种自供能量式车辆减振装置,其特征在于:所述双面粘性薄铁板的厚度为0.15mm~0.5mm。

[0016] 本发明还提供了一种能够实时地调节控制参数、使减振时处于最佳的状态、实用性强的自供能量式车辆减振装置的控制方法,其特征在于,该方法包括以下步骤:

[0017] 步骤一、当车辆行驶在不平路面上时,上吊环与下吊环产生相对运动,上吊环运动带动支撑座一块运动,从而带动所述磁流变阻尼模块运动,此时内磁流变阻尼腔的上下体积发生变化,当所述磁流变阻尼模块向下运动时,内磁流变阻尼腔的下体积减小,上体积增大,磁流变液从内磁流变阻尼腔经过下阻尼通道和上阻尼通道流到外磁流变阻尼腔中,当所述磁流变阻尼模块向上运动时,内磁流变阻尼腔的下体积增大,上体积减小,磁流变液从外磁流变阻尼腔经过上阻尼通道和下阻尼通道流到内磁流变阻尼腔中,使所述车辆减振装置产生阻尼力;一方面,所述磁流变阻尼模块运动时,带动电磁感应线圈相对于永磁体产生运动,切割磁感线产生电能并通过第二整流器整流后,再经过蓄电池充电电路给车载蓄电池充电,车载蓄电池输出电能给可控恒流源电路,再供给励磁线圈;另一方面,所述磁流变阻尼模块运动时,带动下弹簧压板和上弹簧卡座运动,进一步通过传力弹簧实现减振,并把力传递给下弹簧压板和下弹簧卡座,再作用到压电模块上,使压电振子发生正压电效应,产生电能并通过第一整流器整流后,再经过蓄电池充电电路给车载蓄电池充电,车载蓄电池输出电能给可控恒流源电路,再供给励磁线圈;同时,簧载质量位移传感器对簧载质量位移进行实时检测,非簧载质量位移传感器对非簧载质量位移进行实时检测;减振装置控制器对簧载质量位移和非簧载质量位移进行周期性采样;

[0018] 步骤二、减振装置控制器根据公式 $e_i = X_s^i - X_u^i$ 对其第*i*次采样得到的簧载质量位移 X_s^i 和非簧载质量位移 X_u^i 作差,得到第*i*次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i ;其中,*i*的取值为自然数;

[0019] 步骤三、减振装置控制器根据公式 $e_c^i = \frac{de_i}{dt}$ 对第*i*次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 求导,得到第*i*次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏

差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i ;

[0020] 步骤四、减振装置控制器根据公式 $E_i = e_i \times K_1^i$ 对第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 进行量化,得到偏差 e_i 的量化量 E_i ;其中, K_1^i 为第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 的量化因子, K_1^i 的取值方法为:当 $i=1$ 时, $K_1^i = K_1^1 = 120$;当 $i>1$ 且 $|e_i| < 0.02$ 时, $K_1^i = 1.2 \times K_1^{i-1} \times e_i$;当 $i>1$ 且 $0.02 \leq |e_i| \leq 0.04$ 时, $K_1^i = 0.78 \times K_1^{i-1} \times e_i$;当 $i>1$ 且 $|e_i| > 0.04$ 时, $K_1^i = 1.1 \times K_1^{i-1} \times e_i$;偏差 e_i 的量化量 E_i 的论域为 $[-6, 6]$;

[0021] 步骤五、减振装置控制器根据公式 $E_c^i = e_c^i \times K_2^i$ 对第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 进行量化,得到偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i ;其中, K_2^i 为第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化因子, K_2^i 的取值方法为:当 $i=1$ 时, $K_2^i = K_2^1 = 6$;当 $i>1$ 且 $|e_c^i| < 0.08$ 时, $K_2^i = 1.8 \times K_2^{i-1} \times e_c^i$;当 $i>1$ 且 $0.08 \leq |e_c^i| \leq 0.6$ 时, $K_2^i = 1.5 \times K_2^{i-1} \times e_c^i$;当 $i>1$ 且 $|e_c^i| > 0.6$ 时, $K_2^i = 1.75 \times K_2^{i-1} \times e_c^i$;偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的论域为 $[-6, 6]$;

[0022] 步骤六、减振装置控制器对偏差 e_i 的量化量 E_i 按照四舍五入的方法进行整数化,得到偏差 e_i 的量化量 E_i 的整数化结果 \bar{E}_i ,并将偏差 e_i 的量化量 E_i 的整数化结果 \bar{E}_i 作为模糊控制的第一个输入 E'_i ;

[0023] 步骤七、减振装置控制器对偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 按照四舍五入的方法进行整数化,得到偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的整数化结果 \bar{E}_c^i 作为模糊控制的第二个输入 \bar{E}_c^i ;

[0024] 步骤八、减振装置控制器根据模糊控制的第一个输入 E'_i 和模糊控制的第二个输入 \bar{E}_c^i ,查询存储在减振装置控制器内部存储器中的由减振装置控制器预先制定好的模糊控制查询表,得到模糊控制的输出 Γ_i ;

[0025] 步骤九、减振装置控制器根据公式 $I_i = \Gamma_i \times K_3^i$ 对模糊控制的输出 Γ_i 进行调整,得到励磁线圈需要的输入电流 I_i ,即减振装置控制器控制可控恒流源电路的输出电流 I_i ,并控制可控恒流源电路的输出电流为 I_i ,实时调节励磁线圈的输入电流,从而使励磁线圈产生强度可变的磁场作用于磁流变液,使磁流变液的特性发生变化,实时调节磁流变液产生的阻尼力,进而实时调节所述车辆减振装置产生的阻尼力;其中, K_3^i 为对模糊控制的输出 Γ_i 进行调整的比例因子, K_3^i 的取值方法为:当 $i=1$ 时, $K_3^i = K_3^1 = 0.5$;当 $i>1$ 且 $|e_i| < 0.02$ 或 $|e_c^i| < 0.08$ 时, $K_3^i = 0.9 \times K_3^{i-1}$;当 $i>1$ 且 $0.02 \leq |e_i| \leq 0.04$ 或 $0.08 \leq |e_c^i| \leq 0.6$ 时, $K_3^i = 1.2 \times K_3^{i-1}$;当 $i>1$ 且 $|e_i| > 0.04$ 或 $|e_c^i| > 0.6$ 时, $K_3^i = 1.0 \times K_3^{i-1}$ 。

[0026] 上述的一种自供能量式车辆减振装置的控制方法,其特征在于:步骤八中所述减

振装置控制器预先制定模糊控制查询表的过程为：

[0027] 步骤801、簧载质量位移传感器对簧载质量位移进行实时检测，非簧载质量位移传感器对非簧载质量位移进行实时检测，减振装置控制器对簧载质量位移传感器检测到的簧载质量位移信号和非簧载质量位移传感器检测到的非簧载质量位移信号进行周期性采样；

[0028] 步骤802、减振装置控制器根据公式 $e_i = X_s^i - X_u^i$ 对其第 i 次采样得到的簧载质量位移信号 X_s^i 和非簧载质量位移信号 X_u^i 作差，得到第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i ；其中， i 的取值为自然数；

[0029] 步骤803、减振装置控制器根据公式 $e_c^i = \frac{de_i}{dt}$ 对第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 求导，得到第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i ；

[0030] 步骤804、减振装置控制器根据公式 $E_i = e_i \times K_1^i$ 对第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 进行量化，得到偏差 e_i 的量化量 E_i ；其中， K_1^i 为第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 的量化因子， K_1^i 的取值方法为：当 $i=1$ 时， $K_1^i = K_1^1 = 120$ ；当 $i>1$ 且 $|e_i| < 0.02$ 时， $K_1^i = 1.2 \times K_1^{i-1} \times e_i$ ；当 $i>1$ 且 $0.02 \leq |e_i| \leq 0.04$ 时， $K_1^i = 0.78 \times K_1^{i-1} \times e_i$ ；当 $i>1$ 且 $|e_i| > 0.04$ 时， $K_1^i = 1.1 \times K_1^{i-1} \times e_i$ ；偏差 e_i 的量化量 E_i 的论域为 $[-6, 6]$ ；

[0031] 步骤805、减振装置控制器根据公式 $E_c^i = e_c^i \times K_2^i$ 对第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 进行量化，得到偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i ；其中， K_2^i 为第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化因子， K_2^i 的取值方法为：当 $i=1$ 时， $K_2^i = K_2^1 = 6$ ；当 $i>1$ 且 $|e_c^i| < 0.08$ 时， $K_2^i = 1.8 \times K_2^{i-1} \times e_c^i$ ；当 $i>1$ 且 $0.08 \leq |e_c^i| \leq 0.6$ 时， $K_2^i = 1.5 \times K_2^{i-1} \times e_c^i$ ；当 $i>1$ 且 $|e_c^i| > 0.6$ 时， $K_2^i = 1.75 \times K_2^{i-1} \times e_c^i$ ；偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的论域为 $[-6, 6]$ ；

[0032] 步骤806、减振装置控制器对偏差 e_i 的量化量 E_i 进行模糊化处理，其具体过程如下：

[0033] 步骤8061、定义偏差 e_i 的量化量 E_i 的模糊状态集合为{正大、正中、正小、零、负小、负中、负大}；

[0034] 步骤8062、减振装置控制器根据偏差 e_i 的量化量 E_i 的三角形隶属函数

$$\text{trimf}(E_i, a_1, b_1, c_1) = \begin{cases} 0, & E_i \leq a_1 \\ \frac{E_i - a_1}{b_1 - a_1}, & a_1 \leq E_i \leq b_1 \\ \frac{c_1 - E_i}{c_1 - b_1}, & b_1 \leq E_i \leq c_1 \\ 0, & c_1 \leq E_i \end{cases} \left. \vphantom{\text{trimf}} \right\} \text{计算得到偏差 } e_i \text{ 的量化量 } E_i \text{ 对应的模糊状态的隶}$$

属度值 $\text{trimf}(E_i, a_1, b_1, c_1)$, 并根据最大隶属度原则确定偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态, 且当偏差 e_i 的量化量 E_i 在两种不同的模糊状态下对应的隶属度值相等时, 选取小于偏差 e_i 的量化量 E_i 的数据对应的模糊状态为偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态; 其中, a_1 为偏差 e_i 的量化量 E_i 的三角形隶属函数对应的三角形底边左顶点的横坐标, b_1 为偏差 e_i 的量化量 E_i 的三角形隶属函数对应的三角形底边右顶点的横坐标, c_1 为偏差 e_i 的量化量 E_i 的三角形隶属函数对应的三角形上部顶点的横坐标; 当模糊状态为正大时, $a_1=4, b_1=6, c_1=8$; 当模糊状态为正中时, $a_1=2, b_1=4, c_1=6$; 当模糊状态为正小时, $a_1=0, b_1=2, c_1=4$; 当模糊状态为零时, $a_1=-2, b_1=0, c_1=2$; 当模糊状态为负小时, $a_1=-4, b_1=-2, c_1=0$; 当模糊状态为负中时, $a_1=-6, b_1=-4, c_1=-2$; 当模糊状态为负大时, $a_1=-8, b_1=-6, c_1=-4$;

[0035] 步骤807、减振装置控制器对偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 进行模糊化处理, 其具体过程如下:

[0036] 步骤8071、定义偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的模糊状态集合为 {正大、正中、正小、零、负小、负中、负大};

[0037] 步骤8072、减振装置控制器根据偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的三角形

$$\text{隶属函数 } \text{trimf}(E_c^i, a_2, b_2, c_2) = \left\{ \begin{array}{ll} 0, & E_c^i \leq a_2 \\ \frac{E_c^i - a_2}{b_2 - a_2}, & a_2 \leq E_c^i \leq b_2 \\ \frac{c_2 - E_c^i}{c_2 - b_2}, & b_2 \leq E_c^i \leq c_2 \\ 0 & c_2 \leq E_c^i \end{array} \right\} \text{ 计算得到偏差 } e_i \text{ 随时间 } t \text{ 的变化率 } e_c^i$$

的量化量 E_c^i 对应的模糊状态的隶属度值 $\text{trimf}(E_c^i, a_2, b_2, c_2)$, 并根据最大隶属度原则确定偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态, 且当偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 在两种不同的模糊状态下对应的隶属度值相等时, 选取小于偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的数据对应的模糊状态为偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态; 其中, a_2 为偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的三角形隶属函数对应的三角形底边左顶点的横坐标, b_2 为偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的三角形隶属函数对应的三角形底边右顶点的横坐标, c_2 为偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的三角形隶属函数对应的三角形上部顶点的横坐标; 当模糊状态为正大时, $a_2=4, b_2=6, c_2=8$; 当模糊状态为正中时, $a_2=2, b_2=4, c_2=6$; 当模糊状态为正小时, $a_2=0, b_2=2, c_2=4$; 当模糊状态为零时, $a_2=-2, b_2=0, c_2=2$; 当模糊状态为负小时, $a_2=-4, b_2=-2, c_2=0$; 当模糊状态为负中时, $a_2=-6, b_2=-4, c_2=-2$; 当模糊状态为负大时, $a_2=-8, b_2=-6, c_2=-4$;

[0038] 步骤808、定义模糊控制的输出 Γ_i 的模糊状态集合为 {正大、正中、正小、零、负小、负中、负大}, 制定模糊控制根据偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态得到模糊控制的输出 Γ_i 的模糊状态的模糊控制规则, 并根据所述模糊控制规则确定模糊控制的输出 Γ_i 的模糊状态;

[0039] 其中,当第*i*次采样得到的簧载质量位移信号 X_s^i 和非簧载质量位移信号 X_u^i 的差值的绝对值大于20mm时,所述模糊控制规则为:

[0040] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为负大和负大、或负中和负大、或负小和负大、或零和负大、或负大和负中、或负中和负中、或负小和负中时,所述模糊控制的输出 Γ_i 为正大;

[0041] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为负大和负小、或负中和负小、或负小和负小、或零和负小、或负大和零时,所述模糊控制的输出 Γ_i 为正中;

[0042] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为负中和零、或负小和零、或负大和正小、或负中和正小时,所述模糊控制的输出 Γ_i 为正小;

[0043] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为正中和负大、或正大和负大、或正中和负中、或正小和负小、或零和零、或负大和正中、或负中和正中、或负大和正大、或负中和正大时,所述模糊控制的输出 Γ_i 为零;

[0044] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为正大和负中、或正中和负小、或正大和负小、或正小和零时,所述模糊控制的输出 Γ_i 为负小;

[0045] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为正中和零、或正大和零、或零和正小、或正小和正小、或正中和正小、或正大和正小、或负小和正中、或正小和正中、或负小和正大时,所述模糊控制的输出 Γ_i 为负中;

[0046] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为零和正中、或正中和正中、或正大和正中、或零和正大、或正小和正大、或正中和正大、或正大和正大时,所述模糊控制的输出 Γ_i 为负大;

[0047] 当第*i*次采样得到的簧载质量位移信号 X_s^i 和非簧载质量位移信号 X_u^i 的差值的绝对值小于等于20mm时,所述模糊控制规则为:

[0048] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为负大和负小、或负大和零、或负大和正小、或负中和负小、或负中和零时,所述模糊控制的输出 Γ_i 为正大;

[0049] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为负大和负大、或负大和负中、或负大和正中、或负大和正大、或负中和负中、或负中和正小、或负中和正中、或负小和负小、或负小和零、或负小和正小、或负小和正中时,所述模糊控制的输出 Γ_i 为正中;

[0050] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为负中和负大、或负中和正大、或负小和负中、或负小和正大、或零和正

小、或零和正中、或零和正大时,所述模糊控制的输出 Γ_i 为正小;

[0051] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为负小和负大、或零和零、或正小和正大时,所述模糊控制的输出 Γ_i 为零;

[0052] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为零和负大、或零和负中、或零和负小、或正小和负大、或正小和正中、或正中和负大、或正中和正大时,所述模糊控制的输出 Γ_i 为负小;

[0053] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为正小和负中、或正小和负小、或正小和零、或正小和正小、或正中和负中、或正中和负小、或正中和正中、或正大和负大、或正大和负中、或正大和正中、或正大和正大时,所述模糊控制的输出 Γ_i 为负中;

[0054] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为正中和零、或正中和正小、或正大和负小、或正大和零、或正大和正小时,所述模糊控制的输出 Γ_i 为负大;

[0055] 步骤809、对所述模糊控制的输出 Γ_i 的模糊状态进行反模糊化处理,其具体过程为:

[0056] 步骤8091、当第 i 次采样得到的簧载质量位移信号 X_s^i 和非簧载质量位移信号 X_u^i 的差值的绝对值大于20mm时,定义所述模糊控制的输出 Γ_i 的论域为 $[-7, 7]$; 当第 i 次采样得到的簧载质量位移信号 X_s^i 和非簧载质量位移信号 X_u^i 的差值的绝对值小于等于20mm时,定义所述模糊控制的输出 Γ_i 的论域为 $[-6, 6]$;

[0057] 步骤8092、减振装置控制器根据模糊控制的输出 Γ_i 的三角形隶属函数

$$\text{trimf}(\Gamma_i, a_3, b_3, c_3) = \begin{cases} 0, & \Gamma_i \leq a_3 \\ \frac{\Gamma_i - a_3}{b_3 - a_3}, & a_3 \leq \Gamma_i \leq b_3 \\ \frac{c_3 - \Gamma_i}{c_3 - b_3}, & b_3 \leq \Gamma_i \leq c_3 \\ 0 & c_3 \leq \Gamma_i \end{cases} \quad \text{计算得到模糊控制的输出 } \Gamma_i \text{ 的各个模糊状态}$$

下模糊控制的输出 Γ_i 的论域中每个整数对应的隶属度值 $\text{trimf}(\Gamma_i, a_3, b_3, c_3)$, 并将某个模糊状态下模糊控制的输出 Γ_i 的论域中各个整数对应的隶属度值中的最大值所对应的模糊控制的输出 Γ_i 的值确定为所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果; 其中, a_3 为模糊控制的输出 Γ_i 的三角形隶属函数对应的三角形底边左顶点的横坐标, b_3 为模糊控制的输出 Γ_i 的三角形隶属函数对应的三角形底边右顶点的横坐标, c_3 为模糊控制的输出 Γ_i 的三角形隶属函数对应的三角形上部顶点的横坐标; 当模糊状态为正大时, $a_3 = 5, b_3 = 7, c_3 = 9$; 当模糊状态为正中时, $a_3 = 3, b_3 = 5, c_3 = 7$; 当模糊状态为正小时, $a_3 = 0, b_3 = 3, c_3 = 5$; 当模糊状态为零时, $a_3 = -3, b_3 = 0, c_3 = 2$; 当模糊状态为负小时, $a_3 = -5, b_3 = -2, c_3 = 0$; 当模糊状态为负中时, $a_3 = -7, b_3 = -5, c_3 = -3$; 当模糊状态为负大时, $a_3 = -9, b_3 = -7, c_3 = -5$;

[0058] 步骤8010、重复步骤801到步骤809,直到得到偏差 e_i 的量化量 E_i 的论域 $[-6, 6]$ 内的

13个整数与偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的论域 $[-6, 6]$ 内的13个整数的169种组合与所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果的一一对应关系；

[0059] 步骤8011、将偏差 e_i 的量化量 E_i 的论域 $[-6, 6]$ 内的13个整数与偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的论域 $[-6, 6]$ 内的13个整数的169种组合与所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果的一一对应关系制定成模糊控制查询表。

[0060] 上述的一种自供能量式车辆减振装置的控制方法,其特征在于:当第 i 次采样得到的簧载质量位移信号 X_s^i 和非簧载质量位移信号 X_u^i 的差值的绝对值大于20mm时,步骤8011中所述模糊控制查询表用语言描述为:

[0061] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-6和-6,或-6和-4,或-6和-2,或-6和-1,或-6和0,或-4和-6,或-4和-4,或-4和-2,或-4和-1,或-4和0,或-3和-6时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为7;

[0062] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-6和-5,或-6和-3,或-5和-6,或-5和-5,或-5和-4,或-5和-3,或-5和-2,或-5和-1,或-5和0,或-4和-5,或-4和-3,或-3和-5,或-3和-4,或-3和-3,或-3和-2,或-3和-1,或-3和0时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为6;

[0063] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-2和-3,或-1和-3,或0和-3时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为5;

[0064] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-6和1,或-5和1,或-4和1,或-6和2,或-5和2,或-4和2,或-2和-6,或-1和-6,或0和-6,或-2和-5,或-1和-5,或0和-5,或-2和-4,或-1和-4,或0和-4,或-1和-5,或-2和-2,或-1和-2,或-2和-1,或-1和-1,或-2和0时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为4;

[0065] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-3和1时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为3;

[0066] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为1和-6,或1和-5,或2和-5,或1和-4,或1和-3,或2和-3,或-3和2,或-6和3,或-5和3,或-4和3时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为2;

[0067] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为2和-6,或2和-4,或0和-2,或0和-1,或-1和0,或-2和1,或2和-3时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为1;

[0068] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为3和-6,或4和-6,或5和-6,或6和-6,或3和-5,或4和-5,或5和-5,或6和-5,或3和-4,或4和-4,或6和-4,或3和-3,或1和-2,或2和-2,或3和-4,或1和-1,或-2和2,或-1和2,或-3和3,或-2和3,或-1和3,或-6和4,或-5和4,或-4和4,或-6和5,或-5和5,或-4和5,或-6和6,或-5和6,或-4和6时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为0;

[0069] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为1和0,或0和1,或0和2,或0和3,或-3和4,或-2和4,或-3和5,或-2和5,或-3和6,或-2和6,或-1和6时,

输出 Γ_i 反模糊化的结果为-1;

[0070] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为4和-3, 或5和-3, 或6和-3, 或-1和5时, 输出 Γ_i 反模糊化的结果为-2;

[0071] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为3和-2, 或2和-1, 或3和-1, 或1和3, 或2和3, 或-1和4时, 输出 Γ_i 反模糊化的结果为-3;

[0072] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为4和-2, 或5和-2, 或6和-2, 或4和-1, 或5和-1, 或6和-1, 或2和0, 或1和1, 或2和1, 或1和2, 或2和2, 或0和4, 或1和4, 或2和4, 或0和5, 或1和5, 或2和5, 或0和6, 或1和6, 或2和6时, 输出 Γ_i 反模糊化的结果为-4;

[0073] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为3和0, 或5和0, 或3和1, 或5和1, 或3和2, 或5和2, 或3和3, 或4和3, 或5和3, 或6和3, 或3和4, 或5和4, 或3和5, 或4和5, 或5和5, 或6和5, 或3和6, 或5和6时, 输出 Γ_i 反模糊化的结果为-6;

[0074] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为4和0, 或6和0, 或4和1, 或6和1, 或4和2, 或6和2, 或4和4, 或6和4, 或4和6, 或6和6时, 输出 Γ_i 反模糊化的结果为-7;

[0075] 当第 i 次采样得到的簧载质量位移信号 X_s^i 和非簧载质量位移信号 X_u^i 的差值的绝对值小于等于20mm时, 步骤8011中所述模糊控制查询表用语言描述为:

[0076] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-6和-2, 或-6和-1, 或-6和0, 或-6和1, 或-6和2, 或-5和-3, 或-5和-2, 或-5和-1, 或-5和0, 或-4和-2, 或-4和-1, 或-4和0, 或-3和0时, 输出 Γ_i 反模糊化的结果为6;

[0077] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-6和-5, 或-6和-4, 或-6和-3, 或-6和3, 或-6和4, 或-6和5, 或-6和6, 或-5和-4, 或-4和1, 或-5和1, 或-5和2, 或-5和3, 或-5和4, 或-4和-4, 或-4和-3, 或-4和1, 或-4和2, 或-4和3, 或-4和4, 或-3和-2, 或-3和-1, 或-3和1, 或-3和2, 或-3和3, 或-3和4, 或-2和-2, 或-2和-1, 或-2和1, 或-2和2, 或-2和3, 或-2和4, 或2和-4时, 输出 Γ_i 反模糊化的结果为5;

[0078] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-5和-6, 或-5和-5, 或-5和5, 或-5和6, 或-4和-5, 或-4和5, 或-3和-4, 或-3和-3, 或-3和5, 或-2和-3, 或-2和0, 或-2和5, 或-1和2, 或-1和3, 或-1和4, 或-1和5时, 输出 Γ_i 反模糊化的结果为4;

[0079] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-4和-6, 或-4和6, 或-3和-5, 或-3和6, 或-2和-4, 或-2和6, 或-1和0, 或-1和1, 或-1和6, 或0和2, 或0和3, 或0和4, 或0和5, 或0和6时, 输出 Γ_i 反模糊化的结果为2;

[0080] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-3和-6, 或-2和-5, 或-1和-3, 或-1和-2, 或-1和-1, 或0和1, 或1和6时, 输出 Γ_i 反模糊化的结果为1;

[0081] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-2和-6, 或-1和-5, 或-1和-4, 或0和0, 或1和4, 或1和5, 或2和6时, 输出 Γ_i 反模糊化的结果为0;

[0082] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-1和-6,或0和-1,或1和1,或1和2,或1和3,或2和5,或3和6时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为-1;

[0083] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为0和-6,或0和-5,或0和-4,或0和-3,或0和-2,或1和-1,或1和0,或1和-6,或2和-6,或2和4,或3和-6,或3和5,或4和-6,或4和6时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为-2;

[0084] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为1和-5,或1和-4,或1和-3,或1和-2,或2和-5,或2和3,或3和-5,或3和3,或3和4,或4和-5,或4和5,或5和-6,或5和-5,或5和5,或5和6,或1和5,或2和5,或0和6,或1和6,或2和6时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为-4;

[0085] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为2和-4,2和-3,或2和-2,或2和-1,或2和0,或2和1,或2和2,或3和-4,或3和-3,或3和-2,或3和-1,或3和0,或3和1,或3和2,或4和-4,或4和-3,或4和-2,或4和-1,或4和3,或4和4,或5和-4,或5和-3,或5和-2,或5和-1,或5和3,或5和4,或6和-6,或6和-5,或6和-4,或6和-3,或6和3,或6和4,或6和5,或6和6时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为-5;

[0086] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为或4和0,或4和1,或4和2,或5和0,或5和1,或5和2,或6和-2,或6和-1,或6和0,或6和1,或6和2时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为-6。

[0087] 本发明与现有技术相比具有以下优点:

[0088] 1、本发明的自供能量式车辆减振装置的结构紧凑,设计新颖合理,实现方便且成本低,产生电能多,阻尼力能够在相当大范围内实时变化,能量转化率高。

[0089] 2、本发明的压电模块有着新颖的布置形式,同时与双面粘性薄铁板相结合,结构更加紧凑,产生的电能更多。

[0090] 3、本发明电磁感应单元的电磁感应线圈缠绕在防漏磁套的外壁上,永磁体布置在第二缸体的内壁上,再通过设置防漏磁套,能够避免由电磁感应线圈产生的磁场与励磁线圈产生的磁场相干涉。

[0091] 4、本发明上阻尼通道和下阻尼通道的设计巧妙,能够使所述磁流变阻尼单元运动时流经此处的磁流变液磁场利用率更高,从而产生更大的阻尼力,达到实时减振的目的。

[0092] 5、本发明采用压电发电单元和电磁感应单元共同产生电能实现馈能的作用,能够产生足够的电能,供给磁流变阻尼单元使用,即使在电源断电或者不足的情况下,本发明的自供能量式车辆减振装置能够一直工作在馈能模式下,能够把产生的多余电能输送给车载蓄电池储存起来,不但能节省能量消耗,而且能够以备不时之需使用。

[0093] 6、本发明的自供能量式车辆减振装置,工作可靠性和稳定性高,即使实现馈能的压电发电单元和电磁感应单元失效,也能够作为一般的阻尼器使用,不会使正在工作时的工况恶化。

[0094] 7、本发明能够实时地调节励磁线圈的输入电流,使半主动悬架处于最佳的减振状态,能够更好地凸显磁流变阻尼器在工作过程中的主动控制效果。

[0095] 8、本发明中 K_1^i 、 K_2^i 和 K_3^i 的取值方法既能够保证自供能量式车辆减振装置的控制

制方法的快速性和稳定性,又能够避免产生超调,使控制方法尽快进入稳态精度范围,使得自供能量式车辆减振装置的控制方法具有一定的自适应能力和较好的鲁棒性,保证了自供能量式车辆减振装置具有良好动态性和稳态性精度,控制的效果好。

[0096] 9、本发明的自供能量式车辆减振装置的控制方法,预先制定模糊控制查询表,并将模糊控制查询表存储在减振装置控制器的内部存储器中,然后每次控制,只需通过查询模糊控制查询表,即可根据模糊控制的输入,得到输出,提高了控制效率。

[0097] 10、本发明的实用性强,使用效果好,满足当前既能实现更好的减振又能产生足够馈能时所消耗电能的目的,使用前景广阔,便于推广使用。

[0098] 综上所述,本发明的设计新颖合理,实现方便,馈能效率高,工作稳定性和可靠性高,能够实时输出所需阻尼力,使减振时处于最佳的状态,实用性强,使用前景广阔,便于推广使用。

[0099] 下面通过附图和实施例,对本发明的技术方案做进一步的详细描述。

附图说明

[0100] 图1为本发明自供能量式车辆减振装置的结构示意图。

[0101] 图2为图1的A-A剖视图。

[0102] 图3为图1的B-B剖视图。

[0103] 图4为本发明减振装置控制器与其它各部分的电路连接关系示意图。

[0104] 图5为本发明偏差 e_i 的量化量 E_i 的三角形隶属函数图。

[0105] 图6为本发明偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的三角形隶属函数图。

[0106] 图7为本发明模糊控制的输出 Γ_i 的三角形隶属函数图。

[0107] 附图标记说明:

- | | | |
|-----------------------|----------------|-------------|
| [0108] 1—下吊环; | 2—第一缸体; | 3—磁流变液; |
| [0109] 4—压电模块; | 5—双面粘性薄铁板; | 6—压电振子; |
| [0110] 7—下阻尼通道; | 8—第二缸体; | 9—永磁体; |
| [0111] 10—电磁感应线圈; | 11—永磁体保护罩; | 12—防漏磁套; |
| [0112] 13—减振装置控制器; | 14—外缸筒; | 15—支撑座; |
| [0113] 16—第一保护罩过线孔; | 17—第二保护罩过线孔; | |
| [0114] 18—活塞杆过线孔; | 19—上吊环; | 20—第三滑动轴承; |
| [0115] 21—上密封端盖; | 22—上阻尼通道; | 23—励磁线圈; |
| [0116] 24—内磁流变阻尼腔; | 25—外磁流变阻尼腔; | 26—活塞; |
| [0117] 27—内缸筒; | 28—非簧载质量位移传感器; | |
| [0118] 29—非簧载质量位移传感器; | 30—第二滑动轴承; | 31—下密封端盖; |
| [0119] 32—蓄能缓冲隔板; | 33—蓄能缓冲腔; | 34—第一滑动轴承; |
| [0120] 35—上弹簧压板; | 36—上弹簧卡座; | 37—传力弹簧; |
| [0121] 38—下弹簧卡座; | 39—下弹簧压板; | 40—活塞杆; |
| [0122] 41—活塞杆中心孔; | 42—控制盒; | 43—第一整流器; |
| [0123] 44—第二整流器; | 45—蓄电池充电电路; | 46—可控恒流源电路; |
| [0124] 47—车载蓄电池。 | | |

具体实施方式

[0125] 如图1、图2、图3和图4所示的一种自供能量式车辆减振装置,包括减振装置本体和减振装置控制器13,所述减振装置本体包括第一缸体2和从下到上穿过第一缸体2的活塞杆40,以及压电发电单元、传力弹簧单元、磁流变阻尼单元和电磁感应单元;

[0126] 所述压电发电单元包括设置在第一缸体2内底部且通过双面粘性薄铁板5相间粘接的多个压电模块4,每个所述压电模块4中均镶嵌有多个压电振子6;位于最底层的压电模块4通过双面粘性薄铁板5与第一缸体2的内底壁粘接;具体实施时,所述双面粘性薄铁板5是通过在薄铁板的上表面和下表面均涂抹结构胶制成的;

[0127] 所述传力弹簧单元包括间隔设置在第一缸体2内上部的上弹簧压板35和下弹簧压板39,所述下弹簧压板39的底面通过双面粘性薄铁板5与位于最顶层的压电模块4粘接,所述下弹簧压板39的顶部固定连接在下弹簧卡座38,所述上弹簧压板35的底部固定连接在上弹簧卡座36,所述上弹簧卡座36与下弹簧卡座38之间设置有传力弹簧37,所述传力弹簧37的上端与上弹簧卡座36固定连接,所述传力弹簧37的下端与下弹簧卡座38固定连接;

[0128] 所述磁流变阻尼单元包括固定连接在上弹簧压板35顶部的外缸筒14和套装在外缸筒14内部的内缸筒27,所述外缸筒14的下端、上弹簧压板35和上弹簧卡座36通过第一滑动轴承34滑动连接在活塞杆40中部,所述外缸筒14内下部设置有蓄能缓冲隔板32和固定连接在蓄能缓冲隔板32顶部的下密封端盖31,所述蓄能缓冲隔板32与外缸筒14内底壁之间的空间为蓄能缓冲腔33,所述蓄能缓冲隔板32和下密封端盖31通过第二滑动轴承30滑动连接在活塞杆40中部,所述外缸筒14内上部设置有与外缸筒14内顶壁固定连接的上密封端盖21,所述外缸筒14顶部固定连接有罩在外缸筒14外部的永磁体保护罩11,所述外缸筒14的上端、永磁体保护罩11的上端和上密封端盖21通过第三滑动轴承20滑动连接在活塞杆40上部,所述外缸筒14内位于上密封端盖21与下密封端盖31之间的空腔为填充有磁流变液3的磁流变阻尼腔,所述内缸筒27将所述磁流变阻尼腔分隔为了位于内缸筒27的外壁与外缸筒14的内壁之间的外磁流变阻尼腔25和位于内缸筒27的内壁与活塞杆40之间的内磁流变阻尼腔24,所述内缸筒27顶部与上密封端盖21底部之间设置有上阻尼通道22,所述内缸筒27底部与下密封端盖31顶部之间设置下阻尼通道7,所述内缸筒27的顶部外壁上和底部外壁上均缠绕有励磁线圈23,所述活塞杆40上部固定连接有位于内磁流变阻尼腔24内的活塞26;

[0129] 所述电磁感应单元包括紧贴外缸筒14的外壁套装在外缸筒14外部的防漏磁套12和固定连接在第一缸体2顶部的第二缸体8,所述第二缸体8罩在永磁体保护罩11内,所述防漏磁套12的外壁与第二缸体8的内壁之间设置有间隙,所述第二缸体8的内壁上间隔设置有多个永磁体9,所述防漏磁套12的外壁上缠绕有电磁感应线圈10;具体实施时,所述防漏磁套12由非导磁材料制成,所述防漏磁套12用于避免由电磁感应线圈10产生的磁场与励磁线圈23产生的磁场相干涉;

[0130] 所述活塞杆40的底部固定连接下吊环1,所述永磁体保护罩11的顶部固定连接支撑座15,所述支撑座15的顶部固定连接上吊环19;所述减振装置控制器13的输入端接有用于对簧载质量位移进行检测的簧载质量位移传感器28和用于对非簧载质量位移进行检测的非簧载质量位移传感器29,所述永磁体保护罩11的外壁上设置有控制盒42,所述

减振装置控制器13设置在控制盒42内,所述控制盒42内还设置有第一整流器43、第二整流器44、用于为车载蓄电池47充电的蓄电池充电电路45和用于为励磁线圈23提供稳定的输入电流的可控恒流源电路46,所述第一整流器43的输出端和第二整流器44的输出端均与蓄电池充电电路45连接,所述车载蓄电池47与蓄电池充电电路45的输出端连接,所述可控恒流源电路46与车载蓄电池47的输出端和减振装置控制器13的输出端连接,所述励磁线圈23与可控恒流源电路46的输出端连接,所述第一整流器43的输入端与串联后的多个压电振子6连接,所述第二整流器44的输入端与电磁感应线圈10连接。

[0131] 如图1和图2所示,本实施例中,所述活塞杆40的轴向中心设置有供连接第一整流器43的输入端与串联后的多个压电振子6的导线穿过的活塞杆中心孔41,所述活塞杆40的下部开有与活塞杆中心孔41相通且供连接第一整流器43的输入端与串联后的多个压电振子6的导线穿过的活塞杆过线孔18;所述永磁体保护罩11上端开有供连接励磁线圈23与可控恒流源电路46的输出端的导线穿过的第一保护罩过线孔16,以及供连接第二整流器44的输入端与电磁感应线圈10的导线穿过的第二保护罩过线孔17。

[0132] 如图1所示,本实施例中,所述第二缸体8的内径大于第一缸体2的内径。

[0133] 如图1和图3所示,本实施例中,所述压电模块4的数量为三个,所述压电模块4的形状为圆柱形,每个所述压电模块4中均镶嵌有十二个压电振子6,十二个压电振子6分两组后以压电模块4的几何中心为圆心呈环形均匀布设。

[0134] 本实施例中,所述双面粘性薄铁板5的厚度为0.15mm~0.5mm。

[0135] 本发明的一种自供能量式车辆减振装置进行控制的方法,包括以下步骤:

[0136] 步骤一、当车辆行驶在不平路面上时,上吊环19与下吊环1产生相对运动,上吊环19运动带动支撑座15一块运动,从而带动所述磁流变阻尼模块运动,此时内磁流变阻尼腔24的上下体积发生变化,当所述磁流变阻尼模块向下运动时,内磁流变阻尼腔24的下体积减小,上体积增大,磁流变液3从内磁流变阻尼腔24经过下阻尼通道7和上阻尼通道22流到外磁流变阻尼腔25中,当所述磁流变阻尼模块向上运动时,内磁流变阻尼腔24的下体积增大,上体积减小,磁流变液3从外磁流变阻尼腔25经过上阻尼通道22和下阻尼通道7流到内磁流变阻尼腔24中,使所述车辆减振装置产生阻尼力;一方面,所述磁流变阻尼模块运动时,带动电磁感应线圈10相对于永磁体9产生运动,切割磁感线产生电能并通过第二整流器44整流后,再经过蓄电池充电电路45给车载蓄电池47充电,车载蓄电池47输出电能给可控恒流源电路46,再供给励磁线圈23;另一方面,所述磁流变阻尼模块运动时,带动上弹簧压板35和上弹簧卡座36运动,进一步通过传力弹簧37实现减振,并把力传递给下弹簧压板39和下弹簧卡座38,再作用到压电模块4上,使压电振子6发生正压电效应,产生电能并通过第一整流器43整流后,再经过蓄电池充电电路45给车载蓄电池47充电,车载蓄电池47输出电能给可控恒流源电路46,再供给励磁线圈23;同时,簧载质量位移传感器28对簧载质量位移进行实时检测,非簧载质量位移传感器29对非簧载质量位移进行实时检测;减振装置控制器13对簧载质量位移和非簧载质量位移进行周期性采样;具体实施时,所述采样周期为0.25s~1s;

[0137] 步骤二、减振装置控制器13根据公式 $e_i = X_s^i - X_u^i$ 对其第*i*次采样得到的簧载质量位移 X_s^i 和非簧载质量位移 X_u^i 作差,得到第*i*次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移

的偏差 e_i ;其中, i 的取值为自然数;

[0138] 步骤三、减振装置控制器13根据公式 $e_c^i = \frac{de_i}{dt}$ 对第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 求导,得到第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i ;

[0139] 步骤四、减振装置控制器13根据公式 $E_i = e_i \times K_1^i$ 对第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 进行量化,得到偏差 e_i 的量化量 E_i ;其中, K_1^i 为第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 的量化因子, K_1^i 的取值方法为:当 $i=1$ 时, $K_1^i = K_1^1 = 120$;当 $i>1$ 且 $|e_i| < 0.02$ 时, $K_1^i = 1.2 \times K_1^{i-1} \times e_i$;当 $i>1$ 且 $0.02 \leq |e_i| \leq 0.04$ 时, $K_1^i = 0.78 \times K_1^{i-1} \times e_i$;当 $i>1$ 且 $|e_i| > 0.04$ 时, $K_1^i = 1.1 \times K_1^{i-1} \times e_i$;偏差 e_i 的量化量 E_i 的论域为 $[-6, 6]$;

[0140] 步骤五、减振装置控制器13根据公式 $E_c^i = e_c^i \times K_2^i$ 对第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 进行量化,得到偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i ;其中, K_2^i 为第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化因子, K_2^i 的取值方法为:当 $i=1$ 时, $K_2^i = K_2^1 = 6$;当 $i>1$ 且 $|e_c^i| < 0.08$ 时, $K_2^i = 1.8 \times K_2^{i-1} \times e_c^i$;当 $i>1$ 且 $0.08 \leq |e_c^i| \leq 0.6$ 时, $K_2^i = 1.5 \times K_2^{i-1} \times e_c^i$;当 $i>1$ 且 $|e_c^i| > 0.6$ 时, $K_2^i = 1.75 \times K_2^{i-1} \times e_c^i$;偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的论域为 $[-6, 6]$;

[0141] 步骤六、减振装置控制器13对偏差 e_i 的量化量 E_i 按照四舍五入的方法进行整数化,得到偏差 e_i 的量化量 E_i 的整数化结果 \bar{E}_i ,并将偏差 e_i 的量化量 E_i 的整数化结果 \bar{E}_i 作为模糊控制的第一个输入 E'_i ;

[0142] 步骤七、减振装置控制器13对偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 按照四舍五入的方法进行整数化,得到偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的整数化结果 \bar{E}_c^i 作为模糊控制的第二个输入 \bar{E}_c^i ;

[0143] 步骤八、减振装置控制器13根据模糊控制的第一个输入 E'_i 和模糊控制的第二个输入 \bar{E}_c^i ,查询存储在减振装置控制器13内部存储器中的由减振装置控制器13预先制定好的模糊控制查询表,得到模糊控制的输出 Γ_i ;

[0144] 步骤九、减振装置控制器13根据公式 $I_i = \Gamma_i \times K_3^i$ 对模糊控制的输出 Γ_i 进行调整,得到励磁线圈23需要的输入电流 I_i ,即减振装置控制器13控制可控恒流源电路46的输出电流 I_i ,并控制可控恒流源电路46的输出电流为 I_i ,实时调节励磁线圈23的输入电流,从而使励磁线圈23产生强度可变的磁场作用于磁流变液3,使磁流变液3的特性发生变化,实时调节磁流变液3产生的阻尼力,进而实时调节所述车辆减振装置产生的阻尼力;其中, K_3^i 为对模糊控制的输出 Γ_i 进行调整的比例因子, K_3^i 的取值方法为:当 $i=1$ 时, $K_3^i = K_3^1 = 0.5$;当 $i>$

1且 $|e_i| < 0.02$ 或 $|e_c^i| < 0.08$ 时, $K_3^i = 0.9 \times K_3^{i-1}$;当 $i > 1$ 且 $0.02 \leq |e_i| \leq 0.04$ 或 $0.08 \leq |e_c^i| \leq 0.6$ 时, $K_3^i = 1.2 \times K_3^{i-1}$;当 $i > 1$ 且 $|e_i| > 0.04$ 或 $|e_c^i| > 0.6$ 时, $K_3^i = 1.0 \times K_3^{i-1}$ 。

[0145] 本实施例中,步骤八中所述减振装置控制器13预先制定模糊控制查询表的过程为:

[0146] 步骤801、簧载质量位移传感器对簧载质量位移进行实时检测,非簧载质量位移传感器对非簧载质量位移进行实时检测,减振装置控制器13对簧载质量位移传感器检测到的簧载质量位移信号和非簧载质量位移传感器检测到的非簧载质量位移信号进行周期性采样;具体实施时,所述采样周期为 $0.25s \sim 1s$;

[0147] 步骤802、减振装置控制器13根据公式 $e_i = X_s^i - X_u^i$ 对其第 i 次采样得到的簧载质量位移信号 X_s^i 和非簧载质量位移信号 X_u^i 作差,得到第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i ;其中, i 的取值为自然数;

[0148] 步骤803、减振装置控制器13根据公式 $e_c^i = \frac{de_i}{dt}$ 对第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 求导,得到第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i ;

[0149] 步骤804、减振装置控制器13根据公式 $E_i = e_i \times K_1^i$ 对第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 进行量化,得到偏差 e_i 的量化量 E_i ;其中, K_1^i 为第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 的量化因子, K_1^i 的取值方法为:当 $i = 1$ 时, $K_1^i = K_1^1 = 120$;当 $i > 1$ 且 $|e_i| < 0.02$ 时, $K_1^i = 1.2 \times K_1^{i-1} \times e_i$;当 $i > 1$ 且 $0.02 \leq |e_i| \leq 0.04$ 时, $K_1^i = 0.78 \times K_1^{i-1} \times e_i$;当 $i > 1$ 且 $|e_i| > 0.04$ 时, $K_1^i = 1.1 \times K_1^{i-1} \times e_i$;偏差 e_i 的量化量 E_i 的论域为 $[-6, 6]$;

[0150] 步骤805、减振装置控制器13根据公式 $E_c^i = e_c^i \times K_2^i$ 对第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 进行量化,得到偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i ;其中, K_2^i 为第 i 次采样时系统簧载质量位移与非簧载质量位移的偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化因子, K_2^i 的取值方法为:当 $i = 1$ 时, $K_2^i = K_2^1 = 6$;当 $i > 1$ 且 $|e_c^i| < 0.08$ 时, $K_2^i = 1.8 \times K_2^{i-1} \times e_c^i$;当 $i > 1$ 且 $0.08 \leq |e_c^i| \leq 0.6$ 时, $K_2^i = 1.5 \times K_2^{i-1} \times e_c^i$;当 $i > 1$ 且 $|e_c^i| > 0.6$ 时, $K_2^i = 1.75 \times K_2^{i-1} \times e_c^i$;偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的论域为 $[-6, 6]$;

[0151] 步骤806、减振装置控制器13对偏差 e_i 的量化量 E_i 进行模糊化处理,其具体过程如下:

[0152] 步骤8061、定义偏差 e_i 的量化量 E_i 的模糊状态集合为{正大、正中、正小、零、负小、负中、负大};

[0153] 步骤8062、减振装置控制器13根据偏差 e_i 的量化量 E_i 的三角形隶属函数

$$\text{trimf}(E_i, a_1, b_1, c_1) = \begin{cases} 0, & E_i \leq a_1 \\ \frac{E_i - a_1}{b_1 - a_1}, & a_1 \leq E_i \leq b_1 \\ \frac{c_1 - E_i}{c_1 - b_1}, & b_1 \leq E_i \leq c_1 \\ 0 & c_1 \leq E_i \end{cases} \quad \text{计算得到偏差 } e_i \text{ 的量化量 } E_i \text{ 对应的模糊状态的隶}$$

属度值 $\text{trimf}(E_i, a_1, b_1, c_1)$, 并根据最大隶属度原则确定偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态, 即将偏差 e_i 的量化量 E_i 的隶属度值最大的模糊状态确定为偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态, 且当偏差 e_i 的量化量 E_i 在两种不同的模糊状态下对应的隶属度值相等时, 选取小于偏差 e_i 的量化量 E_i 的数据对应的模糊状态为偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态; 其中, a_1 为偏差 e_i 的量化量 E_i 的三角形隶属函数对应的三角形底边左顶点的横坐标, b_1 为偏差 e_i 的量化量 E_i 的三角形隶属函数对应的三角形底边右顶点的横坐标, c_1 为偏差 e_i 的量化量 E_i 的三角形隶属函数对应的三角形上部顶点的横坐标; 当模糊状态为正大时, $a_1=4, b_1=6, c_1=8$; 当模糊状态为正中时, $a_1=2, b_1=4, c_1=6$; 当模糊状态为正小时, $a_1=0, b_1=2, c_1=4$; 当模糊状态为零时, $a_1=-2, b_1=0, c_1=2$; 当模糊状态为负小时, $a_1=-4, b_1=-2, c_1=0$; 当模糊状态为负中时, $a_1=-6, b_1=-4, c_1=-2$; 当模糊状态为负大时, $a_1=-8, b_1=-6, c_1=-4$;

[0154] 具体实施时, 将正大用字母表示为PB、将正中用字母表示为PM、将正小用字母表示为PS、将零用字母表示为ZE、将负小用字母表示为NS、将负中用字母表示为NM、将负大用字母表示为NB, 所述偏差 e_i 的量化量 E_i 的三角形隶属函数用图形表示为图5的形式; 图5的横坐标为偏差 e_i 的量化量 E_i 的论域, 图5的纵坐标为偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态的隶属度值 $\text{trimf}(E_i, a_1, b_1, c_1)$ 。

[0155] 步骤807、减振装置控制器13对偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 进行模糊化处理, 其具体过程如下:

[0156] 步骤8071、定义偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的模糊状态集合为{正大、正中、正小、零、负小、负中、负大};

[0157] 步骤8072、减振装置控制器13根据偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的三角

$$\text{形隶属函数 } \text{trimf}(E_c^i, a_2, b_2, c_2) = \begin{cases} 0, & E_c^i \leq a_2 \\ \frac{E_c^i - a_2}{b_2 - a_2}, & a_2 \leq E_c^i \leq b_2 \\ \frac{c_2 - E_c^i}{c_2 - b_2}, & b_2 \leq E_c^i \leq c_2 \\ 0 & c_2 \leq E_c^i \end{cases} \quad \text{计算得到偏差 } e_i \text{ 随时间 } t \text{ 的变化率}$$

e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态的隶属度值 $\text{trimf}(E_c^i, a_2, b_2, c_2)$, 并根据最大隶属度原则确定偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态, 即将偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的隶属度值最大的模糊状态确定为偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态, 且当偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 在两种不同的模糊状态下对应的

隶属度值相等时,选取小于偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的数据对应的模糊状态为偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态;其中, a_2 为偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的三角形隶属函数对应的三角形底边左顶点的横坐标, b_2 为偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的三角形隶属函数对应的三角形底边右顶点的横坐标, c_2 为偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的三角形隶属函数对应的三角形上部顶点的横坐标;当模糊状态为正大时, $a_2=4,b_2=6,c_2=8$;当模糊状态为正中时, $a_2=2,b_2=4,c_2=6$;当模糊状态为正小时, $a_2=0,b_2=2,c_2=4$;当模糊状态为零时, $a_2=-2,b_2=0,c_2=2$;当模糊状态为负小时, $a_2=-4,b_2=-2,c_2=0$;当模糊状态为负中时, $a_2=-6,b_2=-4,c_2=-2$;当模糊状态为负大时, $a_2=-8,b_2=-6,c_2=-4$;

[0158] 具体实施时,将正大用字母表示为PB、将正中用字母表示为PM、将正小用字母表示为PS、将零用字母表示为ZE、将负小用字母表示为NS、将负中用字母表示为NM、将负大用字母表示为NB,所述偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的三角形隶属函数用图形表示为图6的形式;图6的横坐标为偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的论域,图6的纵坐标为偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态的隶属度值 $\text{trimf}(E_c^i, a_2, b_2, c_2)$ 。

[0159] 步骤808、定义模糊控制的输出 Γ_i 的模糊状态集合为{正大、正中、正小、零、负小、负中、负大},制定模糊控制根据偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态得到模糊控制的输出 Γ_i 的模糊状态的模糊控制规则,并根据所述模糊控制规则确定模糊控制的输出 Γ_i 的模糊状态;

[0160] 具体实施时,将正大用字母表示为PB、将正中用字母表示为PM、将正小用字母表示为PS、将零用字母表示为ZE、将负小用字母表示为NS、将负中用字母表示为NM、将负大用字母表示为NB,将所述模糊控制规则用表格表示为表1:

[0161] 表1 模糊控制规则表一

[0162]

$E_i \backslash E_c^i$	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	ZE	ZE
NM	PB	PB	PM	PS	PS	ZE	ZE
NS	PB	PB	PM	PS	ZE	NM	NM
ZE	PB	PM	PM	ZE	NM	NB	NB
PS	PM	PM	ZE	NS	NM	NM	NB
PM	ZE	ZE	NS	NM	NM	NB	NB
PB	ZE	NS	NS	NM	NM	NB	NB

[0163] 此种模糊控制规则主要目的是降低车辆悬架的动挠度。

[0164] 其中,当第 i 次采样得到的簧载质量位移信号 X_s^i 和非簧载质量位移信号 X_u^i 的差值

的绝对值大于20mm时,所述模糊控制规则为:

[0165] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为负大和负大、或负中和负大、或负小和负大、或零和负大、或负大和负中、或负中和负中、或负小和负中时,所述模糊控制的输出 Γ_i 为正大;

[0166] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为负大和负小、或负中和负小、或负小和负小、或零和负小、或负大和零时,所述模糊控制的输出 Γ_i 为正中;

[0167] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为负中和零、或负小和零、或负大和正小、或负中和正小时,所述模糊控制的输出 Γ_i 为正小;

[0168] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为正中和负大、或正大和负大、或正中和负中、或正小和负小、或零和零、或负大和正中、或负中和正中、或负大和正大、或负中和正大时,所述模糊控制的输出 Γ_i 为零;

[0169] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为正大和负中、或正中和负小、或正大和负小、或正小和零时,所述模糊控制的输出 Γ_i 为负小;

[0170] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为正中和零、或正大和零、或零和正小、或正小和正小、或正中和正小、或正大和正小、或负小和正中、或正小和正中、或负小和正大时,所述模糊控制的输出 Γ_i 为负中;

[0171] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为零和正中、或正中和正中、或正大和正中、或零和正大、或正小和正大、或正中和正大、或正大和正大时,所述模糊控制的输出 Γ_i 为负大;

[0172] 当第 i 次采样得到的簧载质量位移信号 X_s^i 和非簧载质量位移信号 X_u^i 的差值的绝对值小于等于20mm时,所述模糊控制规则为:

[0173] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为负大和负小、或负大和零、或负大和正小、或负中和负小、或负中和零时,所述模糊控制的输出 Γ_i 为正大;

[0174] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为负大和负大、或负大和负中、或负大和正中、或负大和正大、或负中和负中、或负中和正小、或负中和正中、或负小和负小、或负小和零、或负小和正小、或负小和正中时,所述模糊控制的输出 Γ_i 为正中;

[0175] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为负中和负大、或负中和正大、或负小和负中、或负小和正大、或零和正小、或零和正中、或零和正大时,所述模糊控制的输出 Γ_i 为正小;

[0176] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为负小和负大、或零和零、或正小和正大时,所述模糊控制的输出 Γ_i 为零;

[0177] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为零和负大、或零和负中、或零和负小、或正小和负大、或正小和正中、或正中和负大、或正中和正大时,所述模糊控制的输出 Γ_i 为负小;

[0178] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为正小和负中、或正小和负小、或正小和零、或正小和正小、或正中和负中、或正中和负小、或正中和正中、或正大和负大、或正大和负中、或正大和正中、或正大和正大时,所述模糊控制的输出 Γ_i 为负中;

[0179] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 对应的模糊状态和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态分别为正中和零、或正中和正小、或正大和负小、或正大和零、或正大和正小时,所述模糊控制的输出 Γ_i 为负大;

[0180] 具体实施时,将正大用字母表示为PB、将正中用字母表示为PM、将正小用字母表示为PS、将零用字母表示为ZE、将负小用字母表示为NS、将负中用字母表示为NM、将负大用字母表示为NB,将所述模糊控制规则用表格表示为表2:

[0181] 表2 模糊控制规则表二

[0182]

$E_i \backslash E_c^i$	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	PM	PM	PB	PB	PB	PM	PM
NM	PS	PM	PB	PB	PM	PM	PS
NS	ZE	PS	PM	PM	PM	PM	PS
ZE	NS	NS	NS	ZE	PS	PS	PS
PS	NS	NM	NM	NM	NM	NS	ZE
PM	NS	NM	NM	NB	NB	NM	NS
PB	NM	NM	NB	NB	NB	NM	NM

[0183] 此种模糊控制规则主要目的是降低车身加速度与轮胎动载荷。

[0184] 步骤809、对所述模糊控制的输出 Γ_i 的模糊状态进行反模糊化处理,其具体过程为:

[0185] 步骤8091、当第 i 次采样得到的簧载质量位移信号 X_s^i 和非簧载质量位移信号 X_u^i 的差值的绝对值大于20mm时,定义所述模糊控制的输出 Γ_i 的论域为 $[-7, 7]$;当第 i 次采样得到的簧载质量位移信号 X_s^i 和非簧载质量位移信号 X_u^i 的差值的绝对值小于等于20mm时,定义所述模糊控制的输出 Γ_i 的论域为 $[-6, 6]$;

[0186] 步骤8092、减振装置控制器13根据模糊控制的输出 Γ_i 的三角形隶属函数

$$\text{trimf}(\Gamma_i, a_3, b_3, c_3) = \begin{cases} 0, & \Gamma_i \leq a_3 \\ \frac{\Gamma_i - a_3}{b_3 - a_3}, & a_3 \leq \Gamma_i \leq b_3 \\ \frac{c_3 - \Gamma_i}{c_3 - b_3}, & b_3 \leq \Gamma_i \leq c_3 \\ 0, & c_3 \leq \Gamma_i \end{cases} \quad \text{计算得到模糊控制的输出 } \Gamma_i \text{ 的各个模糊状态}$$

下模糊控制的输出 Γ_i 的论域中每个整数对应的隶属度值 $\text{trimf}(\Gamma_i, a_3, b_3, c_3)$, 并将某个模糊状态下模糊控制的输出 Γ_i 的论域中各个整数对应的隶属度值中的最大值所对应的模糊控制的输出 Γ_i 的值确定为所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果; 其中, a_3 为模糊控制的输出 Γ_i 的三角形隶属函数对应的三角形底边左顶点的横坐标, b_3 为模糊控制的输出 Γ_i 的三角形隶属函数对应的三角形底边右顶点的横坐标, c_3 为模糊控制的输出 Γ_i 的三角形隶属函数对应的三角形上部顶点的横坐标; 当模糊状态为正大时, $a_3=5, b_3=7, c_3=9$; 当模糊状态为正中时, $a_3=3, b_3=5, c_3=7$; 当模糊状态为正小时, $a_3=0, b_3=3, c_3=5$; 当模糊状态为零时, $a_3=-3, b_3=0, c_3=2$; 当模糊状态为负小时, $a_3=-5, b_3=-2, c_3=0$; 当模糊状态为负中时, $a_3=-7, b_3=-5, c_3=-3$; 当模糊状态为负大时, $a_3=-9, b_3=-7, c_3=-5$;

[0187] 具体实施时, 将正大用字母表示为PB、将正中用字母表示为PM、将正小用字母表示为PS、将零用字母表示为ZE、将负小用字母表示为NS、将负中用字母表示为NM、将负大用字母表示为NB, 所述模糊控制的输出 Γ_i 的三角形隶属函数用图形表示为图7的形式; 图7的横坐标为模糊控制的输出 Γ_i 的论域, 图7的纵坐标为模糊控制的输出 Γ_i 对应的模糊状态的隶属度值 $\text{trimf}(\Gamma_i, a_3, b_3, c_3)$ 。

[0188] 步骤8010、重复步骤801到步骤809, 直到得到偏差 e_i 的量化量 E_i 的论域 $[-6, 6]$ 内的13个整数与偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的论域 $[-6, 6]$ 内的13个整数的169种组合与所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果的一一对应关系;

[0189] 步骤8011、将偏差 e_i 的量化量 E_i 的论域 $[-6, 6]$ 内的13个整数与偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的论域 $[-6, 6]$ 内的13个整数的169种组合与所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果的一一对应关系制定成模糊控制查询表。

[0190] 本实施例中, 当第 i 次采样得到的簧载质量位移信号 X_s^i 和非簧载质量位移信号 X_u^i 的差值的绝对值大于20mm时, 步骤8011中所述模糊控制查询表用语言描述为:

[0191] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-6和-6, 或-6和-4, 或-6和-2, 或-6和-1, 或-6和0, 或-4和-6, 或-4和-4, 或-4和-2, 或-4和-1, 或-4和0, 或-3和-6时, 输出 Γ_i 反模糊化的结果为7;

[0192] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-6和-5, 或-6和-3, 或-5和-6, 或-5和-5, 或-5和-4, 或-5和-3, 或-5和-2, 或-5和-1, 或-5和0, 或-4和-5, 或-4和-3, 或-3和-5, 或-3和-4, 或-3和-3, 或-3和-2, 或-3和-1, 或-3和0时, 输出 Γ_i 反模糊化的结果为6;

[0193] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-2和-3,

或-1和-3,或0和-3时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为5;

[0194] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-6和1,或-5和1,或-4和1,或-6和2,或-5和2,或-4和2,或-2和-6,或-1和-6,或0和-6,或-2和-5,或-1和-5,或0和-5,或-2和-4,或-1和-4,或0和-4,或-1和-5,或-2和-2,或-1和-2,或-2和-1,或-1和-1,或-2和0时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为4;

[0195] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-3和1时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为3;

[0196] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为1和-6,或1和-5,或2和-5,或1和-4,或1和-3,或2和-3,或-3和2,或-6和3,或-5和3,或-4和3时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为2;

[0197] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为2和-6,或2和-4,或0和-2,或0和-1,或-1和0,或-2和1,或2和-3时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为1;

[0198] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为3和-6,或4和-6,或5和-6,或6和-6,或3和-5,或4和-5,或5和-5,或6和-5,或3和-4,或4和-4,或6和-4,或3和-3,或1和-2,或2和-2,或3和-4,或1和-1,或-2和2,或-1和2,或-3和3,或-2和3,或-1和3,或-6和4,或-5和4,或-4和4,或-6和5,或-5和5,或-4和5,或-6和6,或-5和6,或-4和6时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为0;

[0199] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为1和0,或0和1,或0和2,或0和3,或-3和4,或-2和4,或-3和5,或-2和5,或-3和6,或-2和6,或-1和6时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为-1;

[0200] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为4和-3,或5和-3,或6和-3,或-1和5时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为-2;

[0201] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为3和-2,或2和-1,或3和-1,或1和3,或2和3,或-1和4时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为-3;

[0202] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为4和-2,或5和-2,或6和-2,或4和-1,或5和-1,或6和-1,或2和0,或1和1,或2和1,或1和2,或2和2,或0和4,或1和4,或2和4,或0和5,或1和5,或2和5,或0和6,或1和6,或2和6时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为-4;

[0203] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为3和0,或5和0,或3和1,或5和1,或3和2,或5和2,或3和3,或4和3,或5和3,或6和3,或3和4,或5和4,或3和5,或4和5,或5和5,或6和5,或3和6,或5和6时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为-6;

[0204] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为4和0,或6和0,或4和1,或6和1,或4和2,或6和2,或4和4,或6和4,或4和6,或6和6时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为-7;

[0205] 具体实施时,将所述模糊控制查询表用表格表示为表3:

[0206] 表3 模糊控制查询表一

[0207]

$E_i \backslash E_c^i$	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
-6	7	6	7	6	7	7	7	4	4	2	0	0	0
-5	6	6	6	6	6	6	6	4	4	2	0	0	0
-4	7	6	7	6	7	7	7	4	4	2	0	0	0
-3	7	6	6	6	6	6	6	3	2	0	-1	-1	-1
-2	4	4	4	5	4	4	4	1	0	0	-1	-1	-1
-1	4	4	4	5	4	4	1	0	0	0	-3	-2	-1
0	4	4	4	5	1	1	0	-1	-1	-1	-4	-4	-4
1	2	2	2	2	0	0	-1	-4	-4	-3	-4	-4	-4
2	1	2	1	2	0	-3	-4	-4	-4	-3	-4	-4	-4
3	0	0	0	0	-3	-3	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
4	0	0	0	-2	-4	-4	-7	-7	-7	-6	-7	-6	-7
5	0	0	0	-2	-4	-4	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
6	0	0	0	-2	-4	-4	-7	-7	-7	-6	-7	-6	-7

[0208] 当第*i*次采样得到的簧载质量位移信号 X_s^i 和非簧载质量位移信号 X_u^i 的差值的绝对值小于等于20mm时,步骤8011中所述模糊控制查询表用语言描述为:

[0209] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-6和-2,或-6和-1,或-6和0,或-6和1,或-6和2,或-5和-3,或-5和-2,或-5和-1,或-5和0,或-4和-2,或-4和-1,或-4和0,或-3和0时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为6;

[0210] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-6和-5,或-6和-4,或-6和-3,或-6和3,或-6和4,或-6和5,或-6和6,或-5和-4,或-4和1,或-5和1,或-5和2,或-5和3,或-5和4,或-4和-4,或-4和-3,或-4和1,或-4和2,或-4和3,或-4和4,或-3和-2,或-3和-1,或-3和1,或-3和2,或-3和3,或-3和4,或-2和-2,或-2和-1,或-2和1,或-2和2,或-2和3,或-2和4,或2和-4时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为5;

[0211] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-5和-6,或-5和-5,或-5和5,或-5和6,或-4和-5,或-4和5,或-3和-4,或-3和-3,或-3和5,或-2和-3,或-2和0,或-2和5,或-1和2,或-1和3,或-1和4,或-1和5时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为4;

[0212] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-4和-6,或-4和6,或-3和-5,或-3和6,或-2和-4,或-2和6,或-1和0,或-1和1,或-1和6,或0和2,或0和3,或0和4,或0和5,或0和6时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为2;

[0213] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-3和-6,或-2和-5,或-1和-3,或-1和-2,或-1和-1,或0和1,或1和6时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为1;

[0214] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-2和-6,或-1和-5,或-1和-4,或0和0,或1和4,或1和5,或2和6时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为0;

[0215] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为-1和-6,或0和-1,或1和1,或1和2,或1和3,或2和5,或3和6时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为-1;

[0216] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为0和-6,或0和-5,或0和-4,或0和-3,或0和-2,或1和-1,或1和0,或1和-6,或2和-6,或2和4,或3和-6,或3和5,或4和-6,或4和6时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为-2;

[0217] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为1和-5,或1和-4,或1和-3,或1和-2,或2和-5,或2和3,或3和-5,或3和3,或3和4,或4和-5,或4和5,或5和-6,或5和-5,或5和5,或5和6,或1和5,或2和5,或0和6,或1和6,或2和6时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为-4;

[0218] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为2和-4,2和-3,或2和-2,或2和-1,或2和0,或2和1,或2和2,或3和-4,或3和-3,或3和-2,或3和-1,或3和0,或3和1,或3和2,或4和-4,或4和-3,或4和-2,或4和-1,或4和3,或4和4,或5和-4,或5和-3,或5和-2,或5和-1,或5和3,或5和4,或6和-6,或6和-5,或6和-4,或6和-3,或6和3,或6和4,或6和5,或6和6时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为-5;

[0219] 当偏差 e_i 的量化量 E_i 和偏差 e_i 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的值分别为或4和0,或4和1,或4和2,或5和0,或5和1,或5和2,或6和-2,或6和-1,或6和0,或6和1,或6和2时,输出 Γ_i 反模糊化的结果为-6。

[0220] 具体实施时,将所述模糊控制查询表用表格表示为表4:

[0221] 表4 模糊控制查询表二

[0222]

$E_r \backslash E_c^i$	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
-6	5	5	5	5	6	6	6	6	6	5	5	5	5
-5	4	4	5	6	6	6	6	5	5	5	5	4	4
-4	2	4	5	5	6	6	6	5	5	5	5	4	2
-3	1	2	4	4	5	5	6	5	5	5	5	4	2
-2	0	1	2	4	5	5	4	5	5	5	5	4	2
-1	-1	0	0	1	1	1	2	2	4	4	4	4	2
0	-2	-2	-2	-2	-2	-1	0	1	2	2	2	2	2
1	-2	-4	-4	-4	-4	-2	-2	-1	-1	-1	0	0	1
2	-2	-4	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-4	-2	-1	0
3	-2	-4	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-4	-4	-2	-1
4	-2	-4	-5	-5	-5	-5	-6	-6	-6	-5	-5	-4	-2
5	-4	-4	-5	-5	-5	-5	-6	-6	-6	-5	-5	-4	-4
6	-5	-5	-5	-5	-6	-6	-6	-6	-6	-5	-5	-5	-5

[0223] 以上所述,仅是本发明的较佳实施例,并非对本发明作任何限制,凡是根据本发明技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、变更以及等效结构变化,均仍属于本发明技术方案的保护范围内。

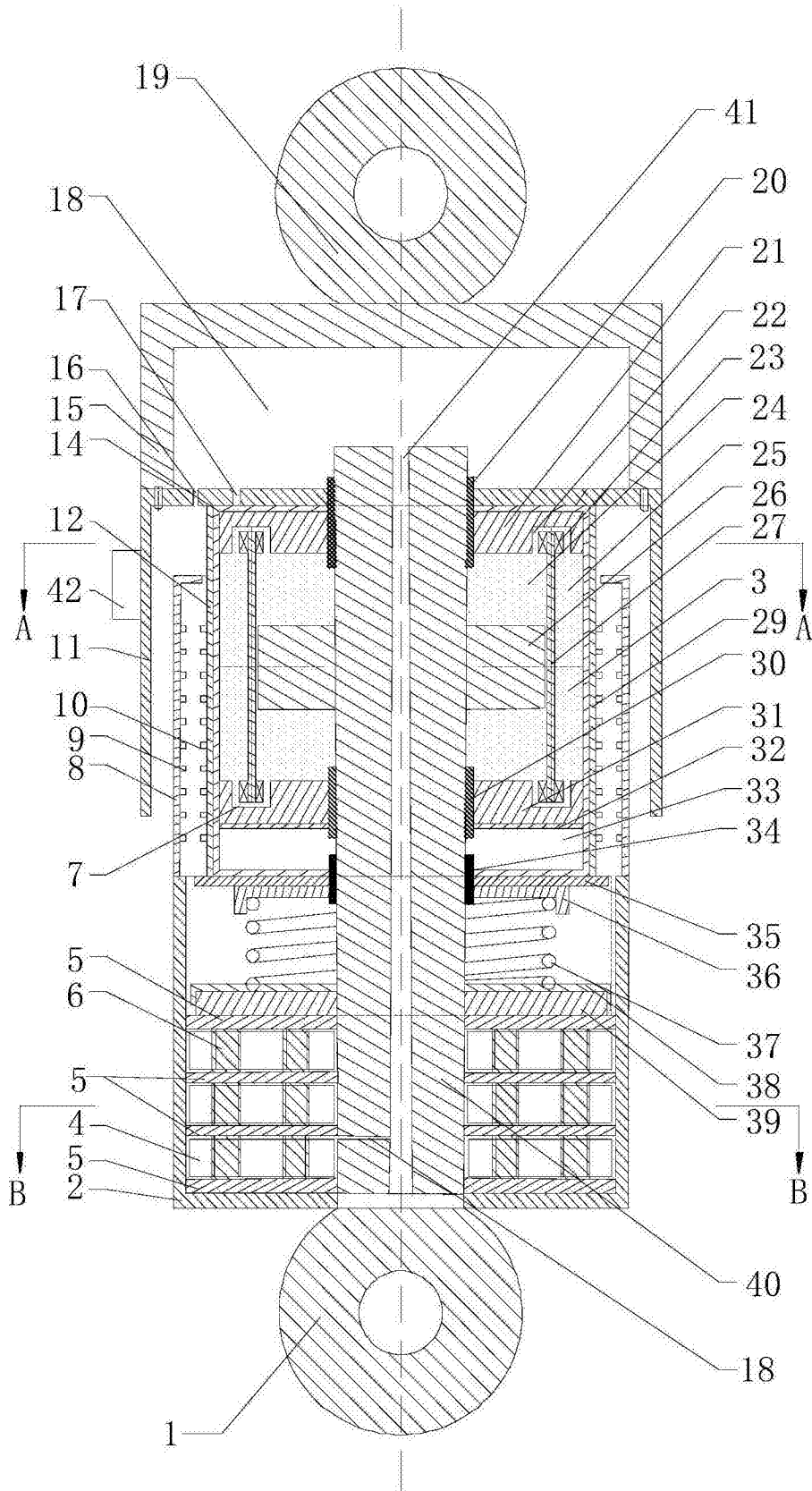


图1

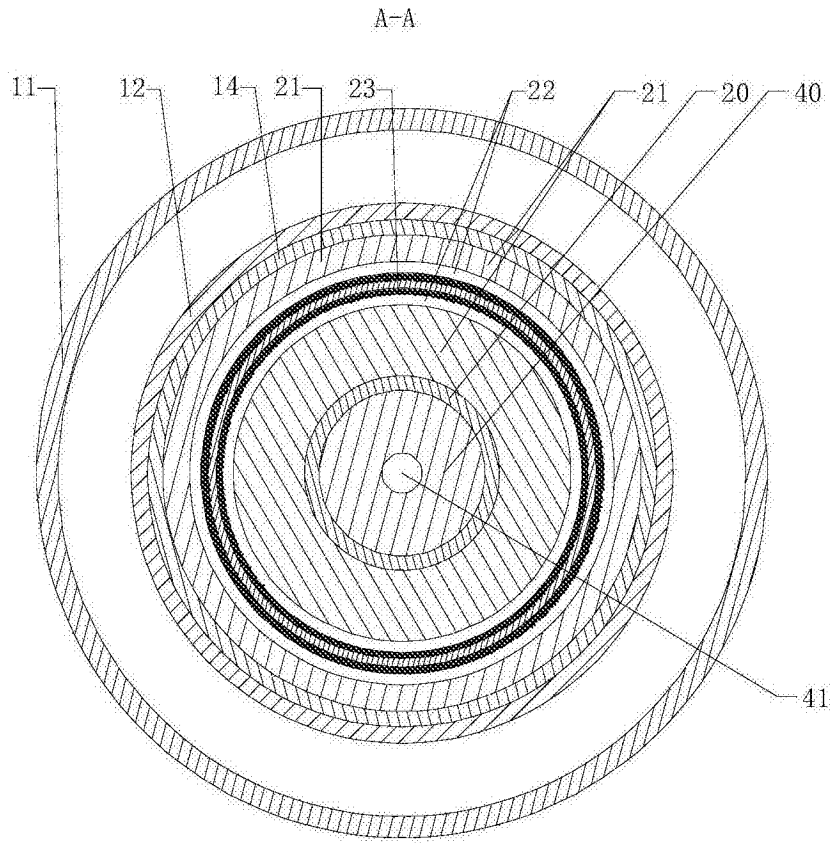


图2

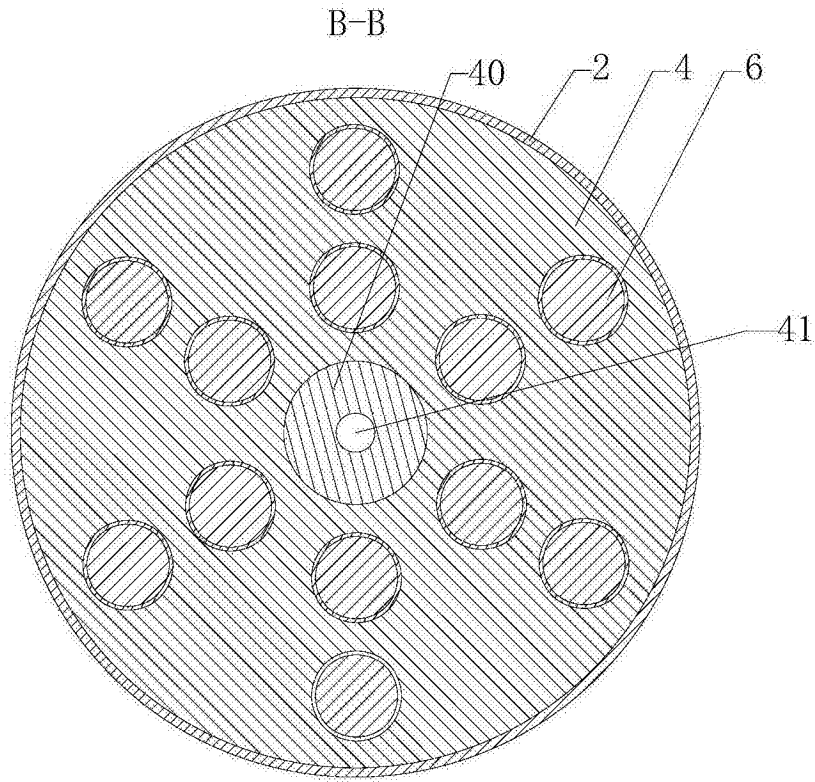


图3

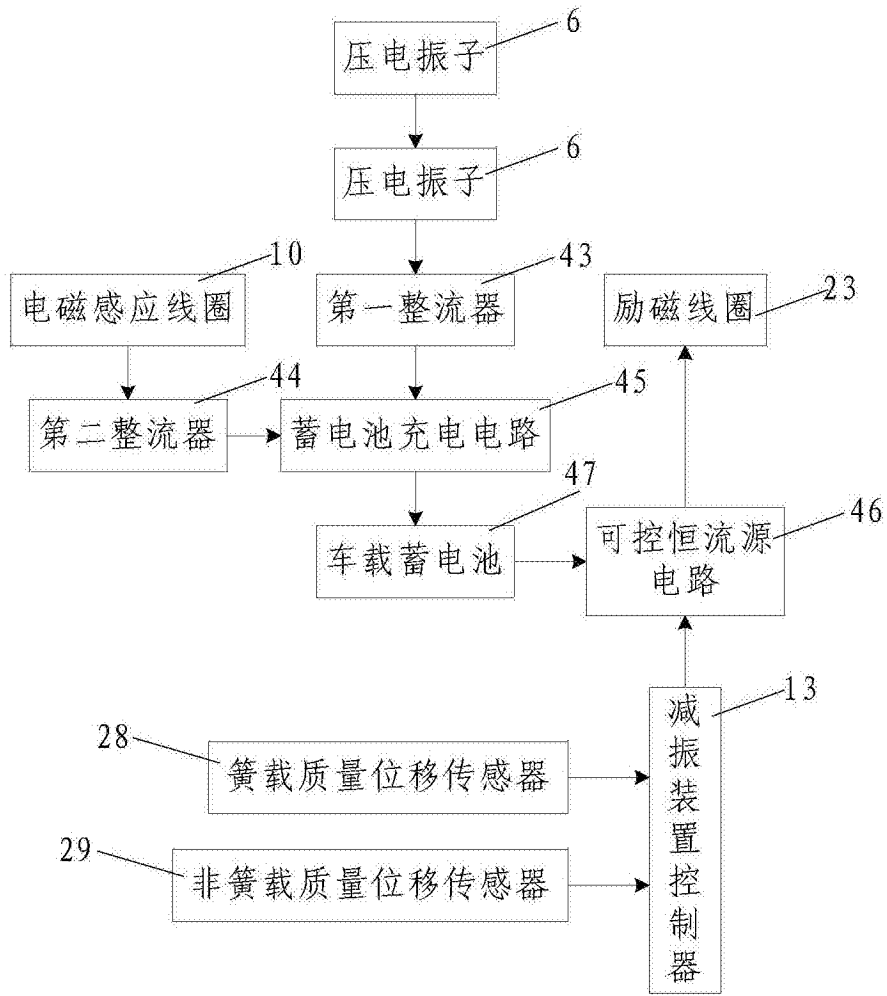


图4

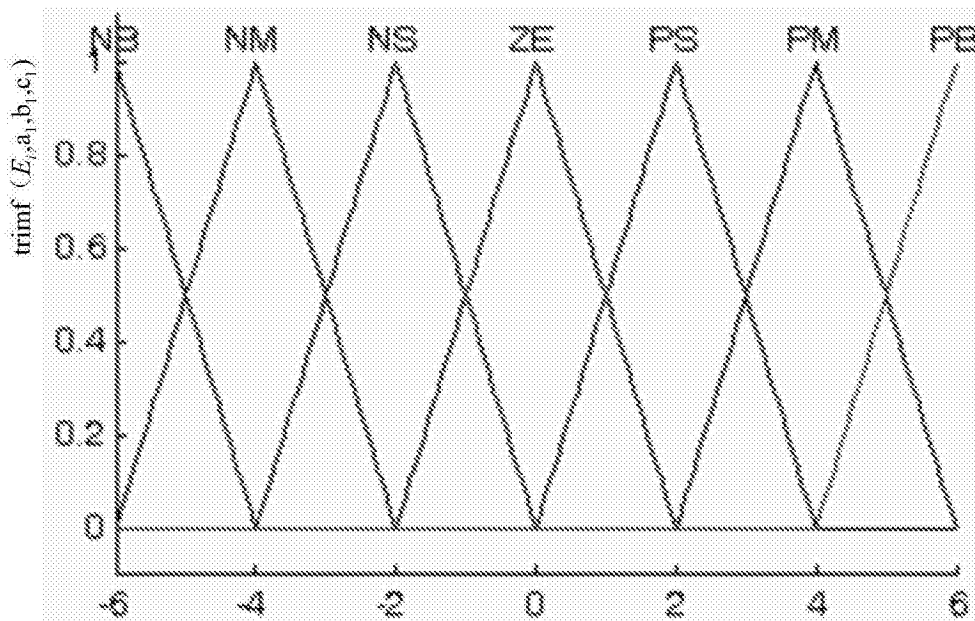


图5

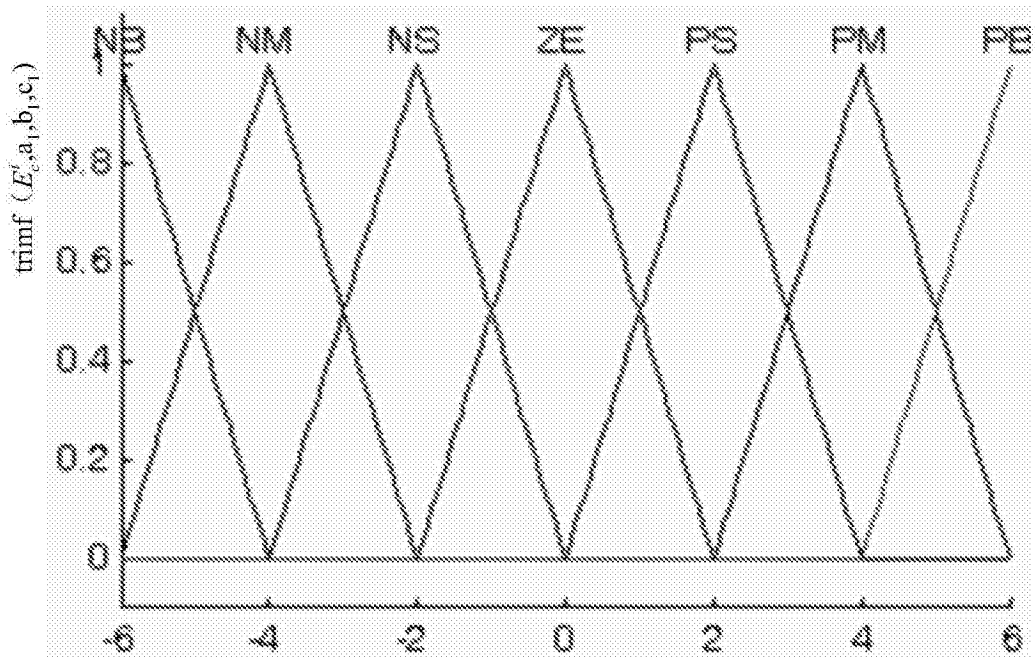


图6

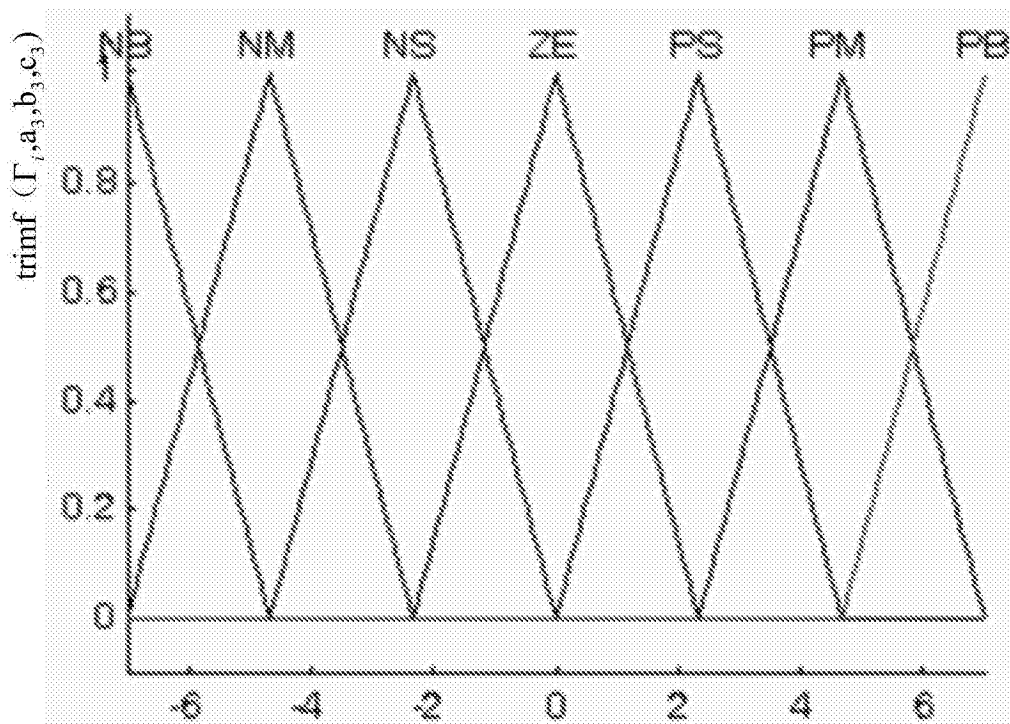


图7