



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 104309436 B

(45) 授权公告日 2015. 09. 02

(21) 申请号 201410603285. 8

CN 103770594 A, 2014. 05. 07,

(22) 申请日 2014. 10. 29

JP JP8-135601 A, 1996. 05. 31,

(73) 专利权人 西安科技大学

审查员 于晓唤

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 谭文琰

(51) Int. Cl.

B60G 17/0195(2006. 01)

B60G 17/018(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 203743296 U, 2014. 07. 30,

CN 103625236 A, 2014. 03. 12,

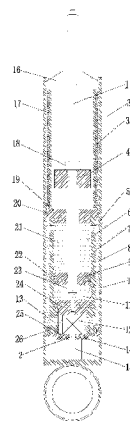
权利要求书9页 说明书20页 附图3页

(54) 发明名称

具有能量自供功能的车辆主动悬架作动器及其控制方法

(57) 摘要

本发明公开了一种具有能量自供功能的车辆主动悬架作动器,包括外套筒、导杆、导向套、第一内套筒、第二内套筒和第一导向及密封装置,导杆底部连接有活塞,导杆中上部连接有永磁体,第二内套筒上缠绕有线圈,外套筒内下部设有挡板,外套筒内底部设有无刷直流电机,挡板顶部设有液压泵,第一内套筒内下部连接有第二导向及密封装置,无刷直流电机的转轴与液压泵的转轴连接,液压泵的第一油口与螺纹孔螺纹连接,第一内套筒的上部设有上通孔,位于挡板与第二导向及密封装置之间的一段第一内套筒上设有下通孔;本发明还公开了一种具有能量自供功能的车辆主动悬架作动器的控制方法。本发明能够延长车载蓄电池的使用寿命,能使主动悬架处于最佳减振状态。



1. 一种具有能量自供功能的车辆主动悬架作动器,其特征在于:包括作动器本体和作动器控制器(27),所述作动器控制器(27)的输入端接有用于对车载蓄电池(32)的输出电压进行检测的电压传感器(28)、用于对簧载质量位移进行检测的簧载质量位移传感器(29)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(30),所述车载蓄电池(32)上接有蓄电池充电电路(33);所述作动器本体包括外套筒(10)和导杆(1),所述外套筒(10)顶部固定连接为导向套(16),所述外套筒(10)内下部套装有第一内套筒(7),所述外套筒(10)内上部套装有第二内套筒(17),所述外套筒(10)内中部密封连接有卡合在第一内套筒(7)与第二内套筒(17)之间的第一导向及密封装置(19),所述导杆(1)穿过导向套(16)伸入了第二内套筒(17)内,且穿过第一导向及密封装置(19)伸入了第一内套筒(7)内,所述导杆(1)的底部连接有密封连接在第一内套筒(7)内部的活塞(9),所述导杆(1)的中上部连接有位于第一导向及密封装置(19)上方的永磁体(4),所述第二内套筒(17)上缠绕有线圈(3),所述第一内套筒(7)中上部的外壁与外套筒(10)的内壁之间留有液压油流动间隙(8),所述第一内套筒(7)的底部与外套筒(10)密封连接,所述外套筒(10)内下部设置有与第一套筒(7)的底端端面相接触的挡板(25),所述外套筒(10)内底部设置有位于挡板(25)下方的无刷直流电机(15),所述挡板(25)顶部设置有液压泵(12),所述第一内套筒(7)内下部卡合连接有位于液压泵(12)顶部的第二导向及密封装置(24),所述第二导向及密封装置(24)的中间位置处设置有螺纹孔,所述无刷直流电机(15)的转轴与液压泵(12)的转轴连接,所述液压泵(12)的第一油口与螺纹孔螺纹连接,所述第一内套筒(7)内部位于活塞(9)上方的腔体为上油腔(6),所述第一内套筒(7)内部位于活塞(9)下方的腔体为下油腔(11),所述液压泵(12)的第二油口位于在第二导向及密封装置(24)与挡板(25)之间的下油腔(11)中,所述上油腔(6)内和下油腔(11)内均设置有液压油(21),所述第一内套筒(7)的上部靠近第一导向及密封装置(19)的位置处设置有供液压油(21)在上油腔(6)与液压油流动间隙(8)之间流通的上通孔(5),位于挡板(25)与第二导向及密封装置(24)之间的一段第一内套筒(7)上设置有供液压油(21)在下油腔(11)与液压油流动间隙(8)之间流通的下通孔(13);所述线圈(3)通过整流器(34)与蓄电池充电电路(33)相接,所述外套筒(10)的外壁上设置有控制盒(31),所述作动器控制器(27)安装在控制盒(31)内,所述无刷直流电机(15)与作动器控制器(27)的输出端和蓄电池充电电路(33)相接。

2. 按照权利要求1所述的具有能量自供功能的车辆主动悬架作动器,其特征在于:所述第一导向及密封装置(19)与外套筒(10)的内壁之间设置有第一O型密封圈(20)。

3. 按照权利要求1所述的具有能量自供功能的车辆主动悬架作动器,其特征在于:所述活塞(9)与导杆(1)的底部螺纹连接,且所述导杆(1)的底部螺纹连接有用于固定导杆(1)的第一螺母(23);所述活塞(9)与第一内套筒(7)的内壁之间设置有第二O型密封圈(22)。

4. 按照权利要求1所述的具有能量自供功能的车辆主动悬架作动器,其特征在于:所述永磁体(4)与导杆(1)的中上部螺纹连接,且所述导杆(1)的中上部螺纹连接有用于固定永磁体(4)的第二螺母(18)。

5. 按照权利要求1所述的具有能量自供功能的车辆主动悬架作动器,其特征在于:所述第一内套筒(7)的底部与外套筒(10)之间设置有第三O型密封圈(26)。

6. 按照权利要求 1 所述的具有能量自供功能的车辆主动悬架作动器,其特征在于:所述无刷直流电机(15)的转轴与液压泵(12)的转轴通过联轴器(2)连接;所述无刷直流电机(15)的转轴上连接有与挡板(25)的底面相接触且用于防止液压油(21)流到挡板(25)下方的油封(14)。

7. 一种对如权利要求 1 所述的具有能量自供功能的车辆主动悬架作动器进行控制的方法,其特征在于该方法包括以下步骤:

步骤 I、电压传感器(28)对车载蓄电池(32)的输出电压进行实时检测,簧载质量位移传感器(29)对簧载质量位移进行实时检测,非簧载质量位移传感器(30)对非簧载质量位移进行实时检测,作动器控制器(27)对电压传感器(28)检测到的车载蓄电池(32)的输出电压信号、簧载质量位移传感器(29)检测到的簧载质量位移信号和非簧载质量位移传感器(30)检测到的非簧载质量位移信号进行周期性采样;

步骤 II、作动器控制器(27)将其采样得到的车载蓄电池(32)的输出电压与预先设定的工作模式转换电压阈值相比对,当车载蓄电池(32)的输出电压小于工作模式转换电压阈值时,所述作动器控制器(27)不输出对无刷直流电机(15)的控制信号,所述车辆主动悬架作动器工作在馈能模式下,具体的工作过程为:车身振动带动导杆(1)运动,导杆(1)带动活塞(9)和永磁体(4)运动,磁场发生变化,线圈(3)切割磁感线产生感应电动势,产生的感应电动势通过整流器(34)整流后,再经过蓄电池充电电路(33)给车载蓄电池(32)充电;同时,当活塞(9)向下运动时,上油腔(6)内的液压油(21)通过螺纹孔和液压泵(12)的第一油口进入液压泵(12),液压泵(12)带动无刷直流电机(15)转动,无刷直流电机(15)转动产生电能,经过蓄电池充电电路(33)给车载蓄电池(32)充电,液压油(21)再经液压泵(12)的第二油口进入在第二导向及密封装置(24)与挡板(25)之间的下油腔(11)内,再经下通孔(13)、液压油流动间隙(8)和上通孔(5)流回上油腔(6);当活塞(9)向上运动时,液压油(21)通过上通孔(5)、液压油流动间隙(8)、下通孔(13)流到在第二导向及密封装置(24)与挡板(25)之间的下油腔(11)内,液压油(21)通过液压泵(12)的第二油口进入液压泵(12),液压泵(12)带动无刷直流电机(15)转动,无刷直流电机(15)转动产生电能,经过蓄电池充电电路(33)给车载蓄电池(32)充电,液压油(21)再经液压泵(12)的第一油口进入在活塞(9)与第二导向及密封装置(24)之间的下油腔(11)内;

当车载蓄电池(32)的输出电压大于工作模式转换电压阈值时,所述作动器控制器(27)根据模糊控制的方法对其采样得到的簧载质量位移信号和非簧载质量位移信号进行分析处理,得到占空比并根据占空比对无刷直流电机(15)的转速进行控制,所述车辆主动悬架作动器工作在主动耗能模式下,具体的工作过程为:无刷直流电机(15)转动时带动液压泵(12)转动,液压泵(12)转动时,液压油(21)通过上通孔(5)、液压油流动间隙(8)、下通孔(13)流到下油腔(11),再从下通孔(13)、液压油流动间隙(8)和上通孔(5)流回上油腔(6),随着液压油(21)在上油腔(6)与下油腔(11)内循环流动,推动活塞(9)上下往复运动,进而在导杆(1)上产生响应主动力并传递给车身。

8. 按照权利要求 7 所述的方法,其特征在于:步骤 II 中所述作动器控制器(27)根据模糊控制的方法对其采样得到的簧载质量位移信号和非簧载质量位移信号进行分析处理,得到占空比的具体过程为:

步骤一、作动器控制器(27)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;

步骤二、作动器控制器 (27) 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 ;

步骤三、作动器控制器 (27) 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 $[-6, 6]$;

步骤四、作动器控制器 (27) 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 $[-6, 6]$;

步骤五、作动器控制器 (27) 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 ;

步骤六、作动器控制器 (27) 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 ;

步骤七、作动器控制器 (27) 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 , 查询存储在作动器控制器 (27) 内部存储器中的由作动器控制器 (27) 预先制定好的模糊控制查询表, 得到模糊控制的输出 Γ_i ;

步骤八、作动器控制器 (27) 根据公式 $\alpha_i = \Gamma_i \times K_3^i$ 对模糊控制的输出 Γ_i 进行调整, 得到作动器控制器 (27) 控制无刷直流电机 (15) 的占空比 α_i ; 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, $K_3^i = 1.0 \times K_3^{i-1}$ 。

9. 按照权利要求 8 所述的方法, 其特征在于: 步骤七中所述作动器控制器 (27) 预先制定模糊控制查询表的过程为:

步骤 701、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, 作动器控制器 (27) 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 702、作动器控制器 (27) 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 703、作动器控制器 (27) 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 704、作动器控制器 (27) 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 705、作动器控制器 (27) 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 706、作动器控制器 (27) 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 7061、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 7062、作动器控制器 (27) 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, $a_1 = -8, b_1 = -6, c_1 = -4$;

步骤 707、作动器控制器 (27) 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 7071、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 7072、作动器控制器 (27) 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

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

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_1 随时间 t 的变化率 e_c^t 的量化量 E_c^t 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 708、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_1 的量化量 E_1 对应的模糊状态和偏差 e_1 随时间 t 的变化率 e_c^t 的量化量 E_c^t 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, 所述模糊控制规则为:

当偏差 e_1 的量化量 E_1 对应的模糊状态和偏差 e_1 随时间 t 的变化率 e_c^t 的量化量 E_c^t 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_1 的量化量 E_1 对应的模糊状态和偏差 e_1 随时间 t 的变化率 e_c^t 的量化量 E_c^t 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_1 的量化量 E_1 对应的模糊状态和偏差 e_1 随时间 t 的变化率 e_c^t 的量化量 E_c^t 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_1 的量化量 E_1 对应的模糊状态和偏差 e_1 随时间 t 的变化率 e_c^t 的量化量 E_c^t 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_1 的量化量 E_1 对应的模糊状态和偏差 e_1 随时间 t 的变化率 e_c^t 的量化量 E_c^t 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_1 的量化量 E_1 对应的模糊状态和偏差 e_1 随时间 t 的变化率 e_c^t 的量化量 E_c^t 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_1 的量化量 E_1 对应的模糊状态和偏差 e_1 随时间 t 的变化率 e_c^t 的量化量 E_c^t 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;

步骤 709、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 7091、定义所述模糊控制的输出 Γ_i 的论域为 $[-7, 7]$ ；

步骤 7092、作动器控制器 (27) 根据模糊控制的输出 Γ_i 的三角形隶属函数

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

下模糊控制的输出 Γ_i 的论域 $[-7, 7]$ 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 $[-7, 7]$ 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 7010、重复步骤 701 到步骤 709，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；

步骤 7011、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。

10. 按照权利要求 9 所述的方法，其特征在于：步骤 7011 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，所述模糊控制的输出 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，所述模糊控制的输出 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，所述模糊控制的输出 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, 所述模糊控制的输出 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, 所述模糊控制的输出 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, 所述模糊控制的输出 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, 所述模糊控制的输出 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, 所述模糊控制的输出 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, 所述模糊控制的输出 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, 所述模糊控制的输出 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, 所述模糊控制的输出 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, 所述模糊控制的输出 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, 所述模糊控制的输出 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, 所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果为 -7。

具有能量自供功能的车辆主动悬架作动器及其控制方法

技术领域

[0001] 本发明属于汽车悬架系统技术领域,具体涉及一种具有能量自供功能的车辆主动悬架作动器及其控制方法。

背景技术

[0002] 汽车在路面上行驶时,由于路面的不平度以及汽车的加减速、转向等操作会导致汽车簧载质量与非簧载质量之间产生相对位移,从而导致汽车产生振动。传统被动悬架中的减振器是以摩擦的形式将这部分机械能转变为热能耗散掉,从而产生阻尼力来衰减汽车的振动。同时,传统的被动悬架由于刚度阻尼等参数是固定不变的,所以,只能保证汽车在一种特定的道路状态和行驶速度下达到最佳性能,这就使汽车行驶平顺性和乘坐舒适性受到了一定的影响。

[0003] 主动悬架就是根据汽车的运动状态和路面情况,适时地调节悬架的参数,使其处于最佳减振状态。其本质就是使路面输入的振动在传递至车身后进一步的被吸收或抵消;主动悬架系统中作动器的设计对主动控制的实现起着决定性的作用。但是主动悬架中的作动器往往需要外部额外的提供能量,使得其能耗增大。为了解决这一问题,有人提出了能量自供式主动悬架作动器,但是,现有技术中的能量自供式主动悬架作动器还存在结构复杂、响应慢、可靠性差、能耗大、成本高等缺陷。例如申请号为 201010108889.7 的中国专利公开了一种液电馈能式减振器,该液电馈能式减振器包括液压回路、工作室和活塞,该工作室由隔板分隔为活塞工作腔与蓄能发电腔两部分,其中:活塞位于活塞工作腔中,其通过活塞推杆与外部的上安装基座相连;液压马达位于蓄能发电腔中,其通过传动轴与外部的旋转发电机相连;蓄能器位于蓄能发电腔中,其位于隔板下方;液压回路由多个单向阀构成液压整流桥,液压回路采用在活塞外布置外接管路或将活塞设计成内外腔的形式。该液电馈能式减振器仅能工作在能量回馈的模式下,通过调整发电机的电流,进而调整发电机的电磁阻力矩,从而调整整个悬架系统的阻尼力,其实质完成的是半主动悬架的控制过程,由于没有主动控制力的输出,减震效果及其控制规律设计受到限制,同时也就会影响车辆行驶的平顺性以及操纵稳定性的提高程度。

[0004] 另外,现有技术中的能量自供式主动悬架作动器的控制方法往往偏重主动悬架的某一方面性能,没有综合能量自供式主动悬架作动器的总体性能,导致作动器在工作过程中主动控制效果不明显,在能量回馈模式与主动控制模式之间转换速度过于频繁,造成系统严重的迟滞效应,对蓄电池的寿命也有较大的影响;而且,现有技术中对作动器中电机转速的控制方法还有待改善,现有技术还不能够使主动悬架处于最佳的减振状态。

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,提供一种结构简单、实现方便且成本低、能有效的回收振动能量、馈能效率高、工作稳定性和可靠性高、实用性强的具有能量自供功能的车辆主动悬架作动器。

[0006] 为解决上述技术问题,本发明采用的技术方案是:一种具有能量自供功能的车辆主动悬架作动器,其特征在于:包括作动器本体和作动器控制器,所述作动器控制器的输入端接有用于对车载蓄电池的输出电压进行检测的电压传感器、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,所述车载蓄电池上接有蓄电池充电电路;所述作动器本体包括外套筒和导杆,所述外套筒顶部固定连接为导向套,所述外套筒内下部套装有第一内套筒,所述外套筒内上部套装有第二内套筒,所述外套筒内中部密封连接有卡合在第一内套筒与第二内套筒之间的第一导向及密封装置,所述导杆穿过导向套伸入了第二内套筒内,且穿过第一导向及密封装置伸入了第一内套筒内,所述导杆的底部连接有密封连接在第一内套筒内部的活塞,所述导杆的中上部连接有位于第一导向及密封装置上方的永磁体,所述第二内套筒上缠绕有线圈,所述第一内套筒中上部的外壁与外套筒的内壁之间留有液压油流动间隙,所述第一内套筒的底部与外套筒密封连接,所述外套筒内下部设置有与第一套筒的底端端面相接触的挡板,所述外套筒内底部设置有位于挡板下方的无刷直流电机,所述挡板顶部设置有液压泵,所述第一内套筒内下部卡合连接有位于液压泵顶部的第二导向及密封装置,所述第二导向及密封装置的中间位置处设置有螺纹孔,所述无刷直流电机的转轴与液压泵的转轴连接,所述液压泵的第一油口与螺纹孔螺纹连接,所述第一内套筒内部位于活塞上方的腔体为上油腔,所述第一内套筒内部位于活塞下方的腔体为下油腔,所述液压泵的第二油口位于在第二导向及密封装置与挡板之间的下油腔中,所述上油腔内和下油腔内均设置有液压油,所述第一内套筒的上部靠近第一导向及密封装置的位置处设置有供液压油在上油腔与液压油流动间隙之间流通的上通孔,位于挡板与第二导向及密封装置之间的一段第一内套筒上设置有供液压油在下油腔与液压油流动间隙之间流通的下通孔;所述线圈通过整流器与蓄电池充电电路相接,所述外套筒的外壁上设置有控制盒,所述作动器控制器安装在控制盒内,所述无刷直流电机与作动器控制器的输出端和蓄电池充电电路相接。

[0007] 上述的具有能量自供功能的车辆主动悬架作动器,其特征在于:所述第一导向及密封装置与外套筒的内壁之间设置有第一 O 型密封圈。

[0008] 上述的具有能量自供功能的车辆主动悬架作动器,其特征在于:所述活塞与导杆的底部螺纹连接,且所述导杆的底部螺纹连接有用于固定导杆的第一螺母;所述活塞与第一内套筒的内壁之间设置有第二 O 型密封圈。

[0009] 上述的具有能量自供功能的车辆主动悬架作动器,其特征在于:所述永磁体与导杆的中上部螺纹连接,且所述导杆的中上部螺纹连接有用于固定永磁体的第二螺母。

[0010] 上述的具有能量自供功能的车辆主动悬架作动器,其特征在于:所述第一内套筒的底部与外套筒之间设置有第三 O 型密封圈。

[0011] 上述的具有能量自供功能的车辆主动悬架作动器,其特征在于:所述无刷直流电机的转轴与液压泵的转轴通过联轴器连接;所述无刷直流电机的转轴上连接有与挡板的底面相接触且用于防止液压油流到挡板下方的油封。

[0012] 本发明还提供了一种能够适时地调节主动悬架的参数、使主动悬架处于最佳的减振状态、能够更好地凸显作动器在工作过程中的主动控制效果的具有能量自供功能的车辆主动悬架作动器的控制方法,其特征在于该方法包括以下步骤:

[0013] 步骤 I、电压传感器对车载蓄电池的输出电压进行实时检测,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,作动器控制器对电压传感器检测到的车载蓄电池的输出电压信号、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;

[0014] 步骤II、作动器控制器将其采样得到的车载蓄电池的输出电压与预先设定的工作模式转换电压阈值相比对,当车载蓄电池的输出电压小于工作模式转换电压阈值时,所述作动器控制器不输出对无刷直流电机的控制信号,所述车辆主动悬架作动器工作在馈能模式下,具体的工作过程为:车身振动带动导杆运动,导杆带动活塞和永磁体运动,磁场发生变化,线圈切割磁感线产生感应电动势,产生的感应电动势通过整流器整流后,再经过蓄电池充电电路给车载蓄电池充电;同时,当活塞向下运动时,上油腔内的液压油通过螺纹孔和液压泵的第一油口进入液压泵,液压泵带动无刷直流电机转动,无刷直流电机转动产生电能,经过蓄电池充电电路给车载蓄电池充电,液压油再经液压泵的第二油口进入在第二导向及密封装置与挡板之间的下油腔内,再经下通孔、液压油流动间隙和上通孔流回上油腔;当活塞向上运动时,液压油通过上通孔、液压油流动间隙、下通孔流到在第二导向及密封装置与挡板之间的下油腔内,液压油通过液压泵的第二油口进入液压泵,液压泵带动无刷直流电机转动,无刷直流电机转动产生电能,经过蓄电池充电电路给车载蓄电池充电,液压油再经液压泵的第一油口进入在活塞与第二导向及密封装置之间的下油腔内;

[0015] 当车载蓄电池的输出电压大于工作模式转换电压阈值时,所述作动器控制器根据模糊控制的方法对其采样得到的簧载质量位移信号和非簧载质量位移信号进行分析处理,得到占空比并根据占空比对无刷直流电机的转速进行控制,所述车辆主动悬架作动器工作在主动耗能模式下,具体的工作过程为:无刷直流电机转动时带动液压泵转动,液压泵转动时,液压油通过上通孔、液压油流动间隙、下通孔流到下油腔,再从下通孔、液压油流动间隙和上通孔流回上油腔,随着液压油在上油腔与下油腔内循环流动,推动活塞上下往复运动,进而在导杆上产生响应主动力并传递给车身。

[0016] 上述的方法,其特征在于:步骤II中所述作动器控制器根据模糊控制的方法对其采样得到的簧载质量位移信号和非簧载质量位移信号进行分析处理,得到占空比的具体过程为:

[0017] 步骤一、作动器控制器根据公式 $e_i = X_s^i - X_u^i$ 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;

[0018] 步骤二、作动器控制器根据公式 $e_c^i = \frac{de_i}{dt}$ 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 ;

[0019] 步骤三、作动器控制器根据公式 $E_i = e_i \times K_1^i$ 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,

$K_1^i = K_1^1 = 1.20$; 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 $[-6, 6]$;

[0020] 步骤四、作动器控制器根据公式 $E_c^i = e_c^i \times K_2^i$ 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 $[-6, 6]$;

[0021] 步骤五、作动器控制器对偏差 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 ;

[0022] 步骤六、作动器控制器对偏差 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 ;

[0023] 步骤七、作动器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 , 查询存储在作动器控制器内部存储器中的由作动器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 ;

[0024] 步骤八、作动器控制器根据公式 $\alpha_i = \Gamma_i \times K_3^i$ 对模糊控制的输出 Γ_i 进行调整, 得到作动器控制器控制无刷直流电机的占空比 α_i ; 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, $K_3^i = 1.0 \times K_3^{i-1}$ 。

[0025] 上述的方法, 其特征在于: 步骤七中所述作动器控制器预先制定模糊控制查询表的过程为:

[0026] 步骤 701、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, 作动器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;

[0027] 步骤 702、作动器控制器根据公式 $e_i = X_s^i - X_u^i$ 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;

[0028] 步骤 703、作动器控制器根据公式 $e_c^i = \frac{de_i}{dt}$ 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 ;

[0029] 步骤 704、作动器控制器根据公式 $E_i = e_i \times K_1^i$ 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 $[-6, 6]$;

[0030] 步骤 705、作动器控制器根据公式 $E_c^i = e_c^i \times K_2^i$ 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 $[-6, 6]$;

[0031] 步骤 706、作动器控制器对偏差 e_i 的量化量 E_i 进行模糊化处理, 其具体过程如下:

[0032] 步骤 7061、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 };

[0033] 步骤 7062、作动器控制器根据偏差 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_1 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_1 的量化量 E_1 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, $a_1 = -8, b_1 = -6, c_1 = -4$;

[0034] 步骤 707、作动器控制器对偏差 e_1 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:

[0035] 步骤 7071、定义偏差 e_1 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 };

[0036] 步骤 7072、作动器控制器根据偏差 e_1 随时间 t 的变化率 e_c^i 的量化量 E_c^i 的三角形

$$\text{隶属函数 } \text{trimf}(E_c^i, a_2, b_2, c_2) = \begin{cases} 0, & E_c^i \leq a_2 \\ \frac{E_c^i - a_2}{b_2 - a_2}, & a_2 \leq E_c^i \leq b_2 \\ \frac{c_2 - E_c^i}{c_2 - b_2}, & b_2 \leq E_c^i \leq c_2 \\ 0 & c_2 \leq E_c^i \end{cases} \text{ 计算得到偏差 } e_1 \text{ 随时间 } t \text{ 的变化率}$$

e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态的隶属度值 $\text{trimf}(E_c^i, a_1, b_1, c_1)$, 并根据最大隶属度原则确定偏差 e_1 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_1 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_1 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_1 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_1 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_1 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_1 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, $a_2 = -8, b_2 = -6, c_2 = -4$;

[0037] 步骤 708、定义模糊控制的输出 Γ_1 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_1 的量化量 E_1 对应的模糊状态和偏差 e_1 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_1 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_1 的模糊状态;

[0038] 其中, 所述模糊控制规则为:

[0039] 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;

[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;

[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;

[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;

[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;

[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;

[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;

[0046] 步骤 709、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:

[0047] 步骤 7091、定义所述模糊控制的输出 Γ_i 的论域为 $[-7, 7]$;

[0048] 步骤 7092、作动器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 $[-7, 7]$ 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 $[-7, 7]$ 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， $a_3=-9$ ， $b_3=-7$ ， $c_3=-5$ ；

[0049] 步骤 7010、重复步骤 701 到步骤 709，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；

[0050] 步骤 7011、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。

[0051] 上述的方法，其特征在于：步骤 7011 中所述模糊控制查询表用语言描述为：

[0052] 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，所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果为 7 ；

[0053] 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，所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果为 6 ；

[0054] 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，所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果为 5 ；

[0055] 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，所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果为 4 ；

[0056] 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，所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果为 3 ；

[0057] 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，所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果为 2 ；

[0058] 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,所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果为1;

[0059] 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,所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果为0;

[0060] 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,所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果为-1;

[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4和-3,或5和-3,或6和-3,或-1和5时,所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果为-2;

[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3和-2,或2和-1,或3和-1,或1和3,或2和3,或-1和4时,所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果为-3;

[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,所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果为-4;

[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,所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果为-6;

[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,所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果为-7。

[0066] 本发明与现有技术相比具有以下优点:

[0067] 1、本发明的车辆主动悬架作动器的结构简单,设计新颖合理,实现方便且成本低。

[0068] 2、当切断电源供电或电源电量不足时,本发明的车辆主动悬架作动器能够在馈能模式下,当接通蓄能电源供电时,本发明的车辆主动悬架作动器工作在主动耗能模式下,馈能模式与主动耗能模式互不干扰,独立进行,能有效的回收振动能量,实现作动器的自主供能。

[0069] 3、本发明的车辆主动悬架作动器以第一导向及密封装置为界线,分成了上下两个部分,上部分中,导杆上装有永磁体,第二内套筒上缠绕有线圈,当车身振动带动导杆运动时,导杆上下运动,导杆上永磁体随之运动,磁场发生变化,线圈切割磁感线产生感应电动

- | | | | |
|--------|----------------|---------------|---------------|
| [0085] | 7—第一内套筒； | 8—液压油流动间隙； | 9—活塞； |
| [0086] | 10—外套筒； | 11—下油腔； | 12—液压泵； |
| [0087] | 13—下通孔； | 14—油封； | 15—无刷直流电机； |
| [0088] | 16—导向套； | 17—第二内套筒； | 18—第二螺母； |
| [0089] | 19—第一导向及密封装置； | 20—第一 O 型密封圈； | 21—液压油； |
| [0090] | 22—第二 O 型密封圈； | 23—第一螺母； | 24—第二导向及密封装置； |
| [0091] | 24-1—螺纹孔； | 25—挡板； | 26—第三 O 型密封圈； |
| [0092] | 27—作动器控制器； | 28—电压传感器； | 29—簧载质量位移传感器； |
| [0093] | 30—非簧载质量位移传感器； | 31—控制盒； | 32—车载蓄电池； |
| [0094] | 33—蓄电池充电电路； | 34—整流器。 | |

具体实施方式

[0095] 如图 1 和图 2 所示,本发明的具有能量自供功能的车辆主动悬架作动器,包括作动器本体和作动器控制器 27,所述作动器控制器 27 的输入端接有用于对车载蓄电池 32 的输出电压进行检测的电压传感器 28、用于对簧载质量位移进行检测的簧载质量位移传感器 29 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 30,所述车载蓄电池 32 上接有蓄电池充电电路 33;所述作动器本体包括外套筒 10 和导杆 1,所述外套筒 10 顶部固定连接为导向套 16,所述外套筒 10 内下部套装有第一内套筒 7,所述外套筒 10 内上部套装有第二内套筒 17,所述外套筒 10 内中部密封连接有卡合在第一内套筒 7 与第二内套筒 17 之间的第一导向及密封装置 19,所述导杆 1 穿过导向套 16 伸入了第二内套筒 17 内,且穿过第一导向及密封装置 19 伸入了第一内套筒 7 内,所述导杆 1 的底部连接有密封连接在第一内套筒 7 内部的活塞 9,所述导杆 1 的中上部连接有位于第一导向及密封装置 19 上方的永磁体 4,所述第二内套筒 17 上缠绕有线圈 3,所述第一内套筒 7 中上部的外壁与外套筒 10 的内壁之间留有液压油流动间隙 8,所述第一内套筒 7 的底部与外套筒 10 密封连接,所述外套筒 10 内下部设置有与第一套筒 7 的底端端面相接触的挡板 25,所述外套筒 10 内底部设置有位于挡板 25 下方的无刷直流电机 15,所述挡板 25 顶部设置有液压泵 12,所述第一内套筒 7 内下部卡合连接有位于液压泵 12 顶部的第二导向及密封装置 24,所述第二导向及密封装置 24 的中间位置处设置有螺纹孔,所述无刷直流电机 15 的转轴与液压泵 12 的转轴连接,所述液压泵 12 的第一油口与螺纹孔螺纹连接,所述第一内套筒 7 内部位于活塞 9 上方的腔体为上油腔 6,所述第一内套筒 7 内部位于活塞 9 下方的腔体为下油腔 11,所述液压泵 12 的第二油口位于在第二导向及密封装置 24 与挡板 25 之间的下油腔 11 中,所述上油腔 6 内和下油腔 11 内均设置有液压油 21,所述第一内套筒 7 的上部靠近第一导向及密封装置 19 的位置处设置有供液压油 21 在上油腔 6 与液压油流动间隙 8 之间流通的上通孔 5,位于挡板 25 与第二导向及密封装置 24 之间的一段第一内套筒 7 上设置有供液压油 21 在下油腔 11 与液压油流动间隙 8 之间流通的下通孔 13;所述线圈 3 通过整流器 34 与蓄电池充电电路 33 相接,所述外套筒 10 的外壁上设置有控制盒 31,所述作动器控制器 27 安装在控制盒 31 内,所述无刷直流电机 15 与作动器控制器 27 的输出端和蓄电池充电电路 33 相接。

[0096] 本实施例中,所述第一导向及密封装置 19 与外套筒 10 的内壁之间设置有第一 O 型密封圈 20。所述活塞 9 与导杆 1 的底部螺纹连接,且所述导杆 1 的底部螺纹连接有用于

固定导杆 1 的第一螺母 23 ;所述活塞 9 与第一内套筒 7 的内壁之间设置有第二 O 型密封圈 22。所述永磁体 4 与导杆 1 的中上部螺纹连接,且所述导杆 1 的中上部螺纹连接有用于固定永磁体 4 的第二螺母 18。所述第一内套筒 7 的底部与外套筒 10 之间设置有第三 O 型密封圈 26。所述无刷直流电机 15 的转轴与液压泵 12 的转轴通过联轴器 2 连接 ;所述无刷直流电机 15 的转轴上连接有与挡板 25 的底面相接触且用于防止液压油 21 流到挡板 25 下方的油封 14。

[0097] 本发明的具有能量自供功能的车辆主动悬架作动器的控制方法,包括以下步骤 :

[0098] 步骤 I、电压传感器 28 对车载蓄电池 32 的输出电压进行实时检测,簧载质量位移传感器 29 对簧载质量位移进行实时检测,非簧载质量位移传感器 30 对非簧载质量位移进行实时检测,作动器控制器 27 对电压传感器 28 检测到的车载蓄电池 32 的输出电压信号、簧载质量位移传感器 29 检测到的簧载质量位移信号和非簧载质量位移传感器 30 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 $0.25\text{s} \sim 1\text{s}$;

[0099] 步骤 II、作动器控制器 27 将其采样得到的车载蓄电池 32 的输出电压与预先设定的工作模式转换电压阈值相对比,当车载蓄电池 32 的输出电压小于工作模式转换电压阈值时,所述作动器控制器 27 不输出对无刷直流电机 15 的控制信号,所述车辆主动悬架作动器工作在馈能模式下,具体的工作过程为 :车身振动带动导杆 1 运动,导杆 1 带动活塞 9 和永磁体 4 运动,磁场发生变化,线圈 3 切割磁感线产生感应电动势,产生的感应电动势通过整流器 34 整流后,再经过蓄电池充电电路 33 给车载蓄电池 32 充电 ;同时,当活塞 9 向下运动时,上油腔 6 内的液压油 21 通过螺纹孔和液压泵 12 的第一油口进入液压泵 12,液压泵 12 带动无刷直流电机 15 转动,无刷直流电机 15 转动产生电能,经过蓄电池充电电路 33 给车载蓄电池 32 充电,液压油 21 再经液压泵 12 的第二油口进入在第二导向及密封装置 24 与挡板 25 之间的下油腔 11 内,再经下通孔 13、液压油流动间隙 8 和上通孔 5 流回上油腔 6 ;当活塞 9 向上运动时,液压油 21 通过上通孔 5、液压油流动间隙 8、下通孔 13 流到在第二导向及密封装置 24 与挡板 25 之间的下油腔 11 内,液压油 21 通过液压泵 12 的第二油口进入液压泵 12,液压泵 12 带动无刷直流电机 15 转动,无刷直流电机 15 转动产生电能,经过蓄电池充电电路 33 给车载蓄电池 32 充电,液压油 21 再经液压泵 12 的第一油口进入在活塞 9 与第二导向及密封装置 24 之间的下油腔 11 内 ;

[0100] 当车载蓄电池 32 的输出电压大于工作模式转换电压阈值时,所述作动器控制器 27 根据模糊控制的方法对其采样得到的簧载质量位移信号和非簧载质量位移信号进行分析处理,得到占空比并根据占空比对无刷直流电机 15 的转速进行控制,所述车辆主动悬架作动器工作在主动耗能模式下,具体的工作过程为 :无刷直流电机 15 转动时带动液压泵 12 转动,液压泵 12 转动时,液压油 21 通过上通孔 5、液压油流动间隙 8、下通孔 13 流到下油腔 11,再从下通孔 13、液压油流动间隙 8 和上通孔 5 流回上油腔 6,随着液压油 21 在上油腔 6 与下油腔 11 内循环流动,推动活塞 9 上下往复运动,进而在导杆 1 上产生响应主动力并传递给车身。

[0101] 具体实施时,所述工作模式转换电压阈值为 9.6V 。

[0102] 本实施例中,步骤 II 中所述作动器控制器 27 根据模糊控制的方法对其采样得到的簧载质量位移信号和非簧载质量位移信号进行分析处理,得到占空比的具体过程为 :

[0103] 步骤一、作动器控制器 27 根据公式 $e_i = X_s^i - X_n^i$ 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;

[0104] 步骤二、作动器控制器 27 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 ;

[0105] 步骤三、作动器控制器 27 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 $[-6, 6]$;

[0106] 步骤四、作动器控制器 27 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 $[-6, 6]$;

[0107] 步骤五、作动器控制器 27 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 ;

[0108] 步骤六、作动器控制器 27 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 ;

[0109] 步骤七、作动器控制器 27 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 , 查询存储在作动器控制器 27 内部存储器中的由作动器控制器 27 预先制定好的模糊控制查询表, 得到模糊控制的输出 Γ_i ;

[0110] 步骤八、作动器控制器 27 根据公式 $\alpha_i = \Gamma_i \times K_3^i$ 对模糊控制的输出 Γ_i 进行调整, 得到作动器控制器 27 控制无刷直流电机 15 的占空比 α_i ; 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, $K_3^i = 1.0 \times K_3^{i-1}$ 。

[0111] 本实施例中, 步骤七中所述作动器控制器 27 预先制定模糊控制查询表的过程为:

[0112] 步骤 701、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, 作动器控制器 27 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 $0.25\text{s} \sim 1\text{s}$;

[0113] 步骤 702、作动器控制器 27 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;

[0114] 步骤 703、作动器控制器 27 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 ;

[0115] 步骤 704、作动器控制器 27 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 $[-6, 6]$;

[0116] 步骤 705、作动器控制器 27 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 $[-6, 6]$;

[0117] 步骤 706、作动器控制器 27 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:

[0118] 步骤 7061、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}；

[0119] 步骤 7062、作动器控制器 27 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，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， $a_1 = -8$ ， $b_1 = -6$ ， $c_1 = -4$ ；

[0120] 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 3 的形式；图 3 的横坐标为偏差 e_i 的量化量 E_i 的论域，图 3 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 $\text{trimf}(E_i, a_1, b_1, c_1)$ 。

[0121] 步骤 707、作动器控制器 27 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：

[0122] 步骤 7071、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}；

[0123] 步骤 7072、作动器控制器 27 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

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

率 e_c^i 的量化量 E_c^i 对应的模糊状态的隶属度值 $\text{trimf}(E_c^i, a_1, b_1, c_1)$ ，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, $a_2 = -8, b_2 = -6, c_2 = -4$;

[0124] 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 4 的形式; 图 4 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 4 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 $\text{trimf}(E_c^i, a_1, b_1, c_1)$ 。

[0125] 步骤 708、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;

[0126] 其中, 所述模糊控制规则为:

[0127] 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;

[0128] 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;

[0129] 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;

[0130] 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;

[0131] 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;

[0132] 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;

[0133] 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;

[0134] 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:

[0135] 表 1 模糊控制规则表

[0136]

$E_i \backslash E_c^i$	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

[0137] 步骤 709、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:

[0138] 步骤 7091、定义所述模糊控制的输出 Γ_i 的论域为 $[-7, 7]$;

[0139] 步骤 7092、作动器控制器 27 根据模糊控制的输出 Γ_i 的三角形隶属函数

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

下模糊控制的输出 Γ_i 的论域 $[-7, 7]$ 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 $[-7, 7]$ 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, $a_3 = -9, b_3 = -7, c_3 = -5$;

[0140] 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 5 的形式; 图 5 的横坐标为模糊控制的输出 Γ_i 的论域, 图 5 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 $\text{trimf}(\Gamma_i, a_3, b_3, c_3)$ 。

[0141] 步骤 7010、重复步骤 701 到步骤 709, 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;

[0142] 步骤 7011、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。

[0143] 本实施例中, 步骤 7011 中所述模糊控制查询表用语言描述为:

[0144] 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, 所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果为 7 ;

[0145] 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, 所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果为 6 ;

[0146] 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, 所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果为 5 ;

[0147] 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, 所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果为 4;

[0148] 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, 所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果为 3;

[0149] 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, 所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果为 2;

[0150] 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, 所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果为 1;

[0151] 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, 所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果为 0;

[0152] 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, 所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果为 -1;

[0153] 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, 所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果为 -2;

[0154] 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, 所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果为 -3;

[0155] 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, 所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果为 -4;

[0156] 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, 所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果为 -6;

[0157] 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, 所述模糊控制的输出 Γ_i 反模糊化的结果为 -7。

[0158] 具体实施时, 步骤 7011 中所述模糊控制查询表用表格表示为表 2:

[0159] 表 2 模糊控制查询表

[0160]

$E_i \backslash E_c^i$	-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

[0161] 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。

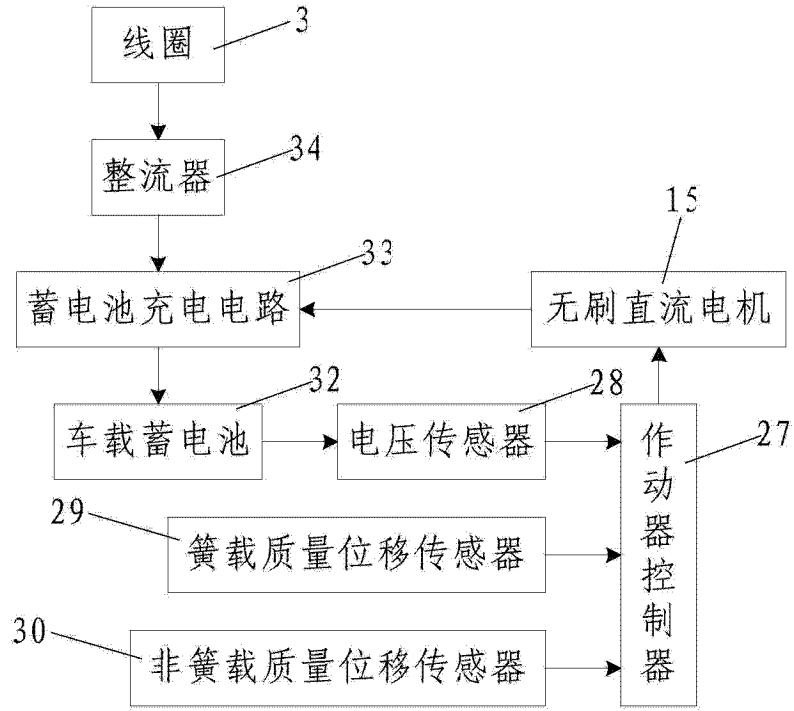


图 2

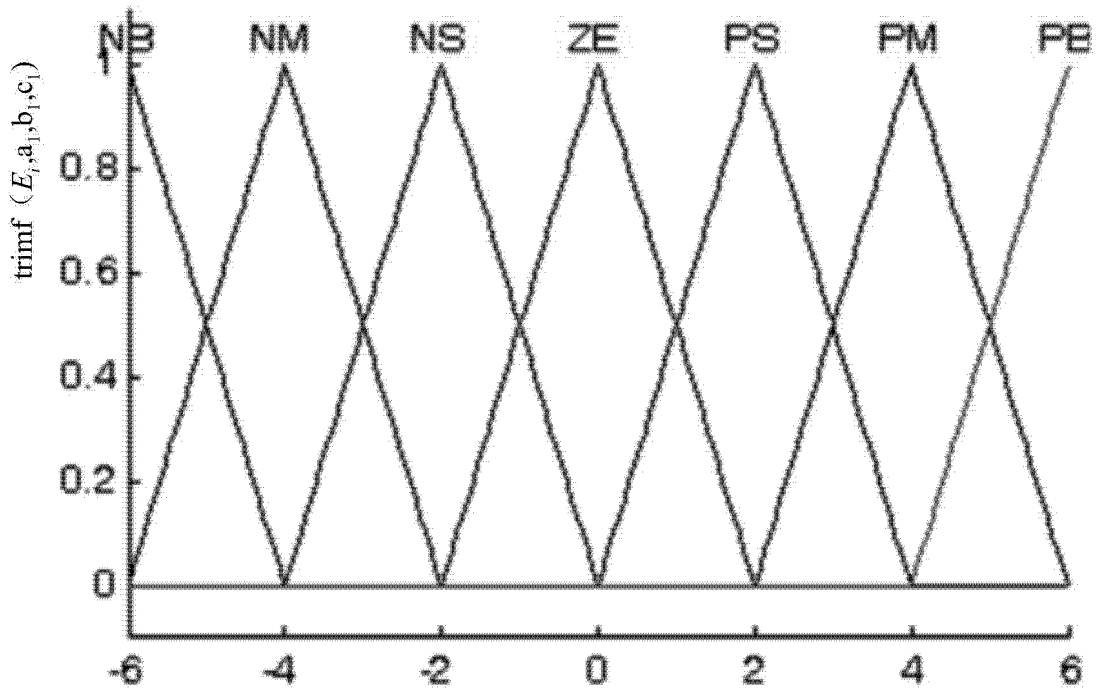


图 3

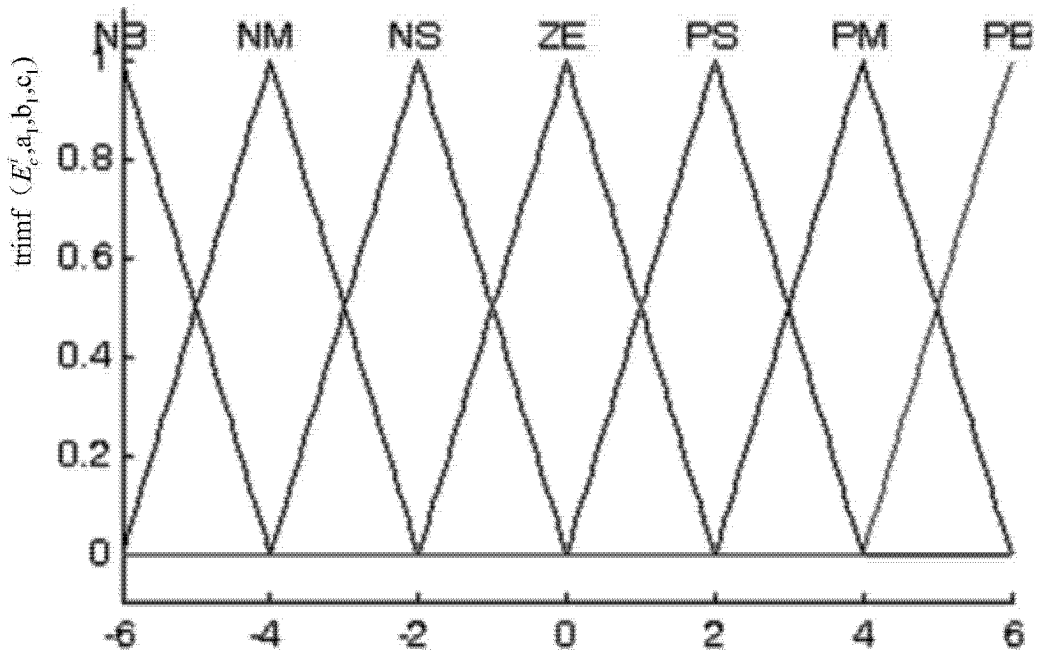


图 4

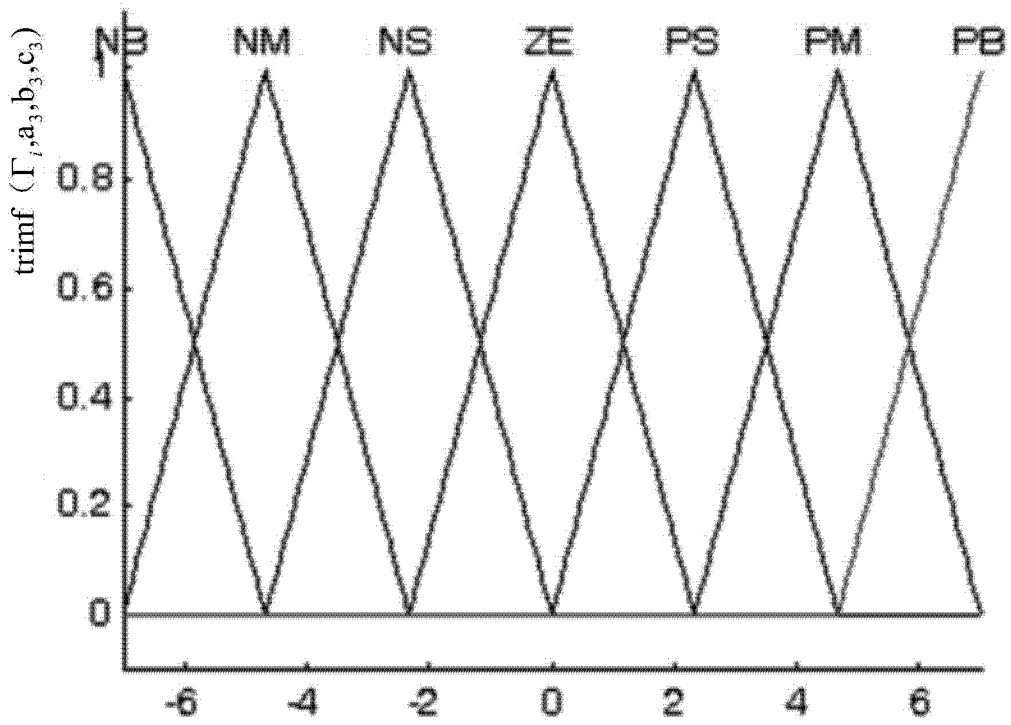


图 5