



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105508495 B

(45)授权公告日 2016.08.24

(21)申请号 201510941283.4

US 2007/0175716 A1,2007.08.02,全文.

(22)申请日 2015.12.15

CN 204845421 U,2015.12.09,全文.

CN 204610676 U,2015.09.02,全文.

(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

审查员 张秉阳

(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)

F16F 9/32(2006.01)

(56)对比文件

CN 102481821 A,2012.05.30,全文.

CN 104385874 A,2015.03.04,全文.

CN 104832585 A,2015.08.12,全文.

权利要求书9页 说明书23页 附图4页

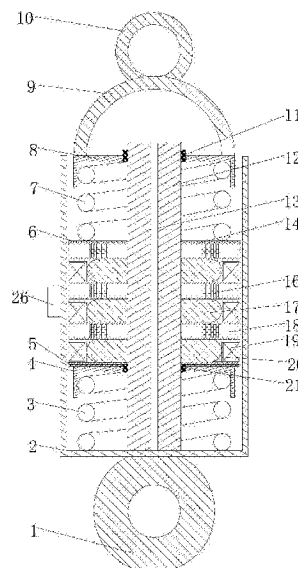
(54)发明名称

一种馈能式磁流变弹性体车辆减振装置及其控制方法

(57)摘要

本发明公开了一种馈能式磁流变弹性体车辆减振装置,包括减振装置本体和减振装置控制器,减振装置本体包括缸筒、活塞杆、上弹簧卡座、上弹簧压板、上传力弹簧、下弹簧卡座、下弹簧压板和下传力弹簧,活塞杆中部套装有多个压电模块和多个磁流变弹性体,相邻的压电模块和磁流变弹性体通过双面粘性薄铁板粘接,双面粘性薄铁板上粘接有导磁支架,导磁支架上缠绕有励磁线圈,压电模块中镶嵌有压电振子;上弹簧卡座的顶部连接有支撑架,支撑架的顶部连接有上吊环,缸筒的底部固定连接有以下吊环;本发明还公开了一种馈能式磁流变弹性体车辆减振装置的控制方法。本发明实现方便且成本低,工作稳定性和可靠性高,馈能效果好,减振性能好,实用性强。

CN 105508495 B



1. 一种馈能式磁流变弹性体车辆减振装置,其特征在于:包括减振装置本体和减振装置控制器(27),所述减振装置本体包括缸筒(2)和设置在缸筒(2)内的活塞杆(12),所述活塞杆(12)的上部通过上滑动轴承(11)连接有上弹簧卡座(8),所述活塞杆(12)的中部套装有多个压电模块(18)和多个磁流变弹性体(17),多个压电模块(18)和多个磁流变弹性体(17)相互间隔设置,相邻的压电模块(18)和磁流变弹性体(17)通过双面粘性薄铁板(14)粘接,所述双面粘性薄铁板(14)上粘接有位于磁流变弹性体(17)外侧的导磁支架(20),所述导磁支架(20)上缠绕有励磁线圈(19),所述压电模块(18)中镶嵌有压电振子(16);所述活塞杆(12)的下部通过下滑动轴承(21)连接有以下弹簧卡座(4)和固定连接在下弹簧卡座(4)顶部的下弹簧压板(5),所述下弹簧卡座(4)内卡合连接有以下端与缸筒(2)内底壁固定连接的下传力弹簧(3),所述下弹簧压板(5)通过双面粘性薄铁板(14)与位于最底层的磁流变弹性体(17)粘接;位于最顶层的压电模块(18)的顶部通过双面粘性薄铁板(14)粘接有上弹簧压板(6),所述上弹簧卡座(8)内卡合连接有以下端与上弹簧压板(6)固定连接的上传力弹簧(7),所述上弹簧卡座(8)的顶部固定连接有以下支撑架(9),所述支撑架(9)的顶部固定连接有以下吊环(10),所述缸筒(2)的底部固定连接有以下吊环(1);所述减振装置控制器(27)的输入端接有以下用于对簧载质量位移进行检测的簧载质量位移传感器(24)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(25),所述缸筒(2)的外壁上设置有控制盒(26),所述减振装置控制器(27)设置在控制盒(26)内,所述控制盒(26)内还设置有整流器(15)、用于为车载蓄电池(23)充电的蓄电池充电电路(22)和用于为励磁线圈(19)提供稳定的输入电流的可控恒流源电路(28),所述蓄电池充电电路(22)接在整流器(15)与车载蓄电池(23)之间,所述可控恒流源电路(28)与车载蓄电池(23)的输出端和减振装置控制器(27)的输出端连接,所述励磁线圈(19)与可控恒流源电路(28)的输出端连接,所述整流器(15)的输入端与串联后的多个压电振子(16)连接。

2. 按照权利要求1所述的一种馈能式磁流变弹性体车辆减振装置,其特征在于:所述活塞杆(12)的轴向中心设置有供连接励磁线圈(19)与可控恒流源电路(28)的输出端的导线以及连接整流器(15)的输入端与串联后的多个压电振子(16)的导线穿过的中心孔(13)。

3. 按照权利要求1所述的一种馈能式磁流变弹性体车辆减振装置,其特征在于:所述下传力弹簧(3)的刚度大于上传力弹簧(7)的刚度。

4. 按照权利要求1所述的一种馈能式磁流变弹性体车辆减振装置,其特征在于:所述导磁支架(20)的厚度小于磁流变弹性体(17)的厚度。

5. 按照权利要求1所述的一种馈能式磁流变弹性体车辆减振装置,其特征在于:所述磁流变弹性体(17)为中间粗两端细的形状。

6. 按照权利要求1所述的一种馈能式磁流变弹性体车辆减振装置,其特征在于:所述双面粘性薄铁板(14)的厚度为0.5mm~0.15mm。

7. 一种对如权利要求1所述的馈能式磁流变弹性体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I、簧载质量位移传感器(24)对簧载质量位移进行实时检测,非簧载质量位移传感器(25)对非簧载质量位移进行实时检测;减振装置控制器(27)对簧载质量位移和非簧载质量位移进行周期性采样;

步骤II、当车辆行驶在不平路面上时,一方面,上吊环(10)与下吊环(1)产生相对运动,

上吊环(10)带动支撑架(9)和上弹簧卡座(8)上下运动,上弹簧卡座(8)把其所受的力通过上传力弹簧(7)传递给上弹簧压板(6),上弹簧压板(6)再把其所受的力通过双面粘性薄铁板(14)传递给压电模块(18)和压电振子(16),使压电振子(16)发生正压电效应,产生电能并通过整流器(15)整流后,再经过蓄电池充电电路(22)给车载蓄电池(23)充电,车载蓄电池(23)输出电能给可控恒流源电路(28);另一方面,所述减振装置控制器(27)根据模糊PID控制的方法对其采样得到的簧载质量位移和非簧载质量位移进行分析处理,得到励磁线圈(19)需要的输入电流并控制可控恒流源电路(28)的输出电流为励磁线圈(19)需要的输入电流,实时调节励磁线圈(19)的输入电流,从而产生强度可变的磁场作用在磁流变弹性体(17)上,即实时调节磁流变弹性体(17)的刚度和阻尼,磁流变弹性体(17)将其所受的力依次向下传递,通过下弹簧压板(5)和下弹簧卡座(4)进一步将力传递给下传力弹簧(3),实现了馈能减振的目的。

8.按照权利要求7所述的方法,其特征在于:步骤II中所述减振装置控制器(27)根据模糊PID控制的方法对其采样得到的簧载质量位移和非簧载质量位移进行分析处理,得到励磁线圈(19)需要的输入电流的具体过程为:

步骤一、减振装置控制器(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 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 ;

步骤二、减振装置控制器(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、减振装置控制器(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 $|e_i| < 0.02$ 时, K_1^i 的值取为150,当 $0.02 \leq |e_i| \leq 0.04$ 时, K_1^i 的值取为120,当 $|e_i| > 0.04$ 时, K_1^i 的值取为100;偏差 e_i 的量化量 E_i 的论域为 $[-7, 7]$;

步骤四、减振装置控制器(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 $|e_c^i| < 0.08$ 时, K_2^i 的值取为7,当 $0.08 \leq |e_c^i| \leq 0.6$ 时, K_2^i 的值取为6,当 $|e_c^i| > 0.6$ 时, K_2^i 的值取为4;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 $[-7, 7]$;

步骤五、减振装置控制器(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、减振装置控制器(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、减振装置控制器(27)根据模糊PID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(27)内部存储器中的由减振装置控制器(27)预先制定好的模糊控制查询表,得到第 i 次采样时模糊控制部分的输出 ΔK_{p_i} 、 ΔK_{i_i} 、 ΔK_{d_i} ,即第 i 次采样时PID控制部分的比例参数的动态调整量 ΔK_{p_i} 、积分参数的动态调整量 ΔK_{i_i} 和微分参数的动态调整量 ΔK_{d_i} ;

步骤八、减振装置控制器(27)根据公式

$$\begin{cases} K_p(i) = K_p(i-1) + \Delta K_{p_i} \times q_p \\ K_i(i) = K_i(i-1) + \Delta K_{i_i} \times q_i \\ K_d(i) = K_d(i-1) + \Delta K_{d_i} \times q_d \end{cases} \text{ 对第 } i \text{ 次采样时 PID}$$

控制部分比例参数的动态调整量 ΔK_{p_i} 、积分参数的动态调整量 ΔK_{i_i} 和微分参数的动态调整量 ΔK_{d_i} 进行整定,得到第 i 次采样时PID控制部分的比例控制参数 $K_p(i)$ 、积分控制参数 $K_i(i)$ 和微分控制参数 $K_d(i)$;其中, $K_p(i-1)$ 为第 $i-1$ 次采样时控制PID控制部分的比例控制参数, $K_i(i-1)$ 为第 $i-1$ 次采样时控制PID控制部分的积分控制参数, $K_d(i-1)$ 为第 $i-1$ 次采样时控制PID控制部分的微分控制参数, q_p 为PID控制部分的比例控制参数的校正速度量且 q_p 的取值为1~10, q_i 为PID控制部分的积分控制参数的校正速度量且 q_i 的取值为1~10, q_d 为PID控制部分的微分控制参数的校正速度量且 q_d 的取值为1~10;

步骤九、减振装置控制器(27)根据公式 $I(i) = K_p(i) \times e_i + K_i(i) \times \sum_{k=0}^i e_k + K_d(i) \times [e_i - e_{i-1}]$ 计算得到励磁线圈(19)需要的输入电流 $I(i)$,即减振装置控制器(27)控制可控恒流源电路(28)的输出电流 $I(i)$;其中, k 为0~ i 的自然数。

9.按照权利要求8所述的方法,其特征在于:步骤七中所述减振装置控制器(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(24)对簧载质量位移进行实时检测,非簧载质量位移传感器(25)对非簧载质量位移进行实时检测;减振装置控制器(27)对簧载质量位移和非簧载质量位移进行周期性采样;

步骤702、减振装置控制器(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 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 的取值为非0的自然数;

步骤703、减振装置控制器(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、减振装置控制器(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 $|e_i| < 0.02$ 时, K_1^i 的取值取为150,当 $0.02 \leq |e_i| \leq 0.04$ 时, K_1^i 的取值取为120,当 $|e_i| > 0.04$ 时, K_1^i 的取值取为100;偏

差 e_i 的量化量 E_i 的论域为 $[-7, 7]$;

步骤705、减振装置控制器(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 $|e_c^i| < 0.08$ 时, K_2^i 的值取为7,当 $0.08 \leq |e_c^i| \leq 0.6$ 时, K_2^i 的值取为6,当 $|e_c^i| > 0.6$ 时, K_2^i 的值取为4;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 $[-7, 7]$;

步骤706、减振装置控制器(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、零正、零负、负小、负中、负大};

步骤7062、减振装置控制器(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, $a_1=5, b_1=7, c_1=9$;当模糊状态为正中时, $a_1=3, b_1=5, c_1=7$;当模糊状态为正小时, $a_1=1, b_1=3, c_1=5$;当模糊状态为正零时, $a_1=-1, b_1=1, c_1=3$;当模糊状态为负零时, $a_1=-3, b_1=-1, c_1=1$;当模糊状态为负小时, $a_1=-5, b_1=-3, c_1=-1$;当模糊状态为负中时, $a_1=-7, b_1=-5, c_1=-3$;当模糊状态为负大时, $a_1=-9, b_1=-7, c_1=-5$;

步骤707、减振装置控制器(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、零正、零负、负小、负中、负大};

步骤7072、减振装置控制器(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 的三角形隶

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

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, $a_2=5, b_2=7, c_2=9$; 当模糊状态为正中时, $a_2=3, b_2=5, c_2=7$; 当模糊状态为正小时, $a_2=1, b_2=3, c_2=5$; 当模糊状态为正零时, $a_2=-1, b_2=1, c_2=3$; 当模糊状态为负零时, $a_2=-3, b_2=-1, c_2=1$; 当模糊状态为负小时, $a_2=-5, b_2=-3, c_2=-1$; 当模糊状态为负中时, $a_2=-7, b_2=-5, c_2=-3$; 当模糊状态为负大时, $a_2=-9, b_2=-7, c_2=-5$;

步骤708、定义模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 的模糊状态集合均为{正大、正中、正小、零正、零负、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部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 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出模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 的模糊状态;

其中, 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 对应的模糊输入状态分别为负大和负大、负大和负中、负大和负小、负大和零负、负大和零正、负大和正小、负大和正中、负大和正大时, 模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 分别为正大、负大和负中, 正大、负大和负小, 正中、负中和零负, 正中、负中和零负, 正小、负小和零正, 正小、负小和零正, 零正、零负和负小, 零正、零正和负小;

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 对应的模糊输入状态分别为负中和负大、负中和负中、负中和负小、负中和零负、负中和零正、负中和正小、负中和正中、负中和正大时, 模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 分别为正大、负大和正小, 正中、负大和负小, 正小、负中和负大, 正小、负小和负大, 正小、负小和负大, 正小、负小和负大, 零正、零负和负中, 零正、零正和正小;

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 对应的模糊输入状态分别为负小和负大、负小和负中、负小和负小、负小和零负、负小和零正、负小和

正小、负小和正中、负小和正大时,模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{i_i} 和 ΔK_{d_i} 分别为正中、负大和零负,正中、负中和负小,正中、负小和负中,正小、零负和负中,零正、零正和负小,零负、零正和负小,负小、正小和负小,负小、正小和零负;

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'_i 的量化量 E'_i 对应的模糊输入状态分别为零负和负大、零负和负中、零负和负小、零负和零负、零负和零正、零负和正小、零负和正中、零负和正大时,模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{i_i} 和 ΔK_{d_i} 分别为正中、负中和零负,正小、负小和零负,正小、零负和负小,零正、零正和负小,零负、零正和负中,零负、零正和负小,负小、正小和零负,负小、正小和零负;

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'_i 的量化量 E'_i 对应的模糊输入状态分别为零正和负大、零正和负中、零正和负小、零正和零负、零正和零正、零正和正小、零正和正中、零正和正大时,模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{i_i} 和 ΔK_{d_i} 分别为零正、负中和负中,零正、负小和负小,零正、零负和零负,零负、零正和零负,零负、零正和零正,负小、正小和正小,负中、正中和正中,负中、正大和正大;

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'_i 的量化量 E'_i 对应的模糊输入状态分别为正小和负大、正小和负中、正小和负小、正小和零负、正小和零正、正小和正小、正小和正中、正小和正大时,模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{i_i} 和 ΔK_{d_i} 分别为正小、负中和零负,正小、负小和零负,零正、零负和零负,零正、零负和零负,零负、零正和零正,负小、正小和零正,负中、正中和零正,负中、负大和零正;

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'_i 的量化量 E'_i 对应的模糊输入状态分别为正中和负大、正中和负中、正中和负小、正中和零负、正中和零正、正中和正小、正中和正中、正中和正大时,模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{i_i} 和 ΔK_{d_i} 分别为正小、零正和正大,零正、零正和负小,零负、零负和正小,负小、零负和正小,负小、正小和正小,负中、正中和正小,负中、正大和正小,负大、正大和正大;

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'_i 的量化量 E'_i 对应的模糊输入状态分别为正大和负大、正大和负中、正大和负小、正大和零负、正大和零正、正大和正小、正大和正中、正大和正大时,模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{i_i} 和 ΔK_{d_i} 分别为零正、零负和正大,零正、零正和正中,零正、正小和正中,负中、正小和正中,负中、正中和正小,负中、正中和正小,负大、正大和正小,负大、正大和正大;

步骤709、对所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{i_i} 和 ΔK_{d_i} 的模糊状态进行反模糊化处理,其具体过程为:

步骤7091、定义所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{i_i} 和 ΔK_{d_i} 的论域均为 $[-6,6]$;

步骤7092、减振装置控制器(27)根据所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{i_i} 和 ΔK_{d_i} 的

$$\text{三角形隶属函数 } \text{trimf}(\Delta K_{p_i}, \Delta K_{i_i}, \Delta K_{d_i}, a_3, b_3, c_3) = \left. \begin{cases} 0, & \Delta \leq a_3 \\ \frac{\Delta - a_3}{b_3 - a_3}, & a_3 \leq \Delta \leq b_3 \\ \frac{c_3 - \Delta}{c_3 - b_3}, & b_3 \leq \Delta \leq c_3 \\ 0 & c_3 \leq \Delta \end{cases} \right\} \text{计算得到模糊控制}$$

部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 的各个模糊状态下模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 的论域 $[-6,6]$ 中每个整数对应的隶属度值 $\text{trimf}(\Delta K_{pi}, \Delta K_{ii}, \Delta K_{di}, a_3, b_3, c_3)$,并将某个模糊状态下模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 的论域 $[-6,6]$ 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部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 的值确定为所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果;其中, a_3 为模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 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 为模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 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 为模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 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, $a_3=1, b_3=3, c_3=5$;当模糊状态为正零时, $a_3=-1, b_3=1, c_3=3$;当模糊状态为负零时, $a_3=-3, b_3=-1, c_3=1$;当模糊状态为负小时, $a_3=-5, b_3=-3, c_3=-1$;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 $[-7,7]$ 内的15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 $[-7,7]$ 内的15个整数的225种组合与所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 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 $[-7,7]$ 内的15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 $[-7,7]$ 内的15个整数的225种组合与所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 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-7和-7、-7和-6、-7和-5、-7和-4、-7和-3、-7和-2、-7和-1、-7和0、-7和1、-7和2、-7和3、-7和4、-7和5、-7和6、-7和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为6、-6和-5,6、-6和-4,6、-6和-3,5、-5和-2,5、-5和-1,5、-5和-1,5、-5和-1,4、-4和-1,3、-3和-1,3、-3和-1,3、-3和-1,2、-2和-2,1、1和-3,1、0和-3,1、1和-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-6和-7、-6和-6、-6和-5、-6和-4、-6和-3、-6和-2、-6和-1、-6和0、-6和1、-6和2、-6和3、-6和4、-6和5、-6和6、-6和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为6、-6和-1,5、-6和-1,5、-6和-2,4、-5和-3,4、-5和-3,4、-4和-3,4、-4和-3,4、-4和-3,3、-3和-3,3、-3和-3,3、-3和-3,2、-2和-3,1、-1和-4,1、0和-1,1、1和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-5和-7、-5和-6、-5和-5、-5和-4、-5和-3、-5和-2、-5和-1、-5和0、-5和1、-5和2、-5和3、-5和4、-5和5、-5和6、-5和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为6、-6和3,5、-6和0,5、-6和-3,4、-5和-4,3、-5和-6,3、-4和-6,3、-3和-6,3、-3和-6,3、-3和-6,3、-3和-6,3、-3和-6,2、-2和-5,1、-1和-5,1、0和-1,1、1和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-7、-4和-6、-4和-5、-4和-4、-4和-3、-4和-2、-4和-1、-4和0、-4和1、-4和2、-4和3、-4和4、-4和5、-4和6、-4和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为5、-6

和1,5、-5和0,5、-5和-3,4、-4和-4,4、-4和-5,4、-3和-5,3、-2和-5,2、-1和-4,2、-1和-4,1、-1和-4,1、-1和-4,0,0和-4,-1,1和-4,1、-1和-1,-1,2和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-7、-3和-6、-3和-5、-3和-4、-3和-3、-3和-2、-3和-1、-3和0、-3和1、-3和2、-3和3、-3和4、-3和5、-3和6、-3和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为5、-6和-1,5、-5和-2,5、-5和-3,5、-4和-4,5、-3和-5,4、-2和-5,3、-1和-5,2,3和-4,1,1和-3,0,1和-3,-1,1和-3,-2,2和-3,-3,3和-3,-3,3和-2,-3,3和-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-7、-2和-6、-2和-5、-2和-4、-2和-3、-2和-2、-2和-1、-2和0、-2和1、-2和2、-2和3、-2和4、-2和5、-2和6、-2和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为5、-5和-1,4、-4和-2,4、-4和-2,4、-3和-3,4、-2和-4,3、-1和-4,2,0和-4,1,3和-4,0,1和-4,0,1和-4,0,1和-3,-2,2和-2,-3,3和-2,-3,3和-2,-3,3和-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-1和-7、-1和-6、-1和-5、-1和-4、-1和-3、-1和-2、-1和-1、-1和0、-1和1、-1和2、-1和3、-1和4、-1和5、-1和6、-1和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为5、-5和-1,4、-4和-1,3、-3和-1,3、-2和-2,3、-1和-3,2,0和-3,1,0和-3,0,1和-4,-1,1和-5,-1,1和-4,-1,1和-3,-2,2和-2,-3,3和-1,-3,3和-1,-3,3和-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-7,0和-6、0和-5,0和-4,0和-3,0和-2,0和-1,0和0,0和1,0和2,0和3,0和4,0和5,0和6,0和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为3、-5和-3,3、-4和-3,2、-3和-2,2、-2和-2,2、-1和-2,1,0和-2,0,1和-2,3,1和-2,-1,1和-2,-2,2和-1,-2,2和0,-3,3和1,-4,4和2,-4,4和3,-4,4和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-7,1和-6、1和-5,1和-4,1和-3,1和-2,1和-1,1和0,1和1,1和2,1和3,1和4,1和5,1和6,1和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为1、-5和-5,1、-4和-4,1、-3和-3,1、-2和-2,1、-1和-1,0,0和-1,-1,1和-1,-1,1和3,-1,1和1,-2,2和2,-3,3和3,-4,4和4,-5,5和5,-5,5和5,-5,6和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-7,2和-6、2和-5,2和-4,2和-3,2和-2,2和-1,2和0,2和1,2和2,2和3,2和4,2和5,2和6,2和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为2、-5和-3,2、-4和-3,2、-3和-2,2、-2和-2,1、-1和-1,0,0和-1,0,0和-1,3,3和3,-1,1和1,-2,2和2,-3,3和2,-4,4和3,-5,5和3,-5,5和3,-5,6和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-7,3和-6、3和-5,3和-4,3和-3,3和-2,3和-1,3和0,3和1,3和2,3和3,3和4,3和5,3和6,3和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为3、-5和-1,3、-4和-1,3、-3和-1,2、-2和-1,1、-1和-1,1、-1和-1,1、-1和-1,3,3和3,-1,1和1,-2,2和1,-3,3和1,-4,4和1,-5,5和1,-5,5和1,-5,6和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-7、4和-6、4和-5、4和-4、4和-3、4和-2、4和-1、4和0、4和1、4和2、4和3、4和4、4和5、4和6、4和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为3、-2和1,2、-2和0,2、-1和-2,1、-1和0,0、-1和1,-1、-1和1,-1、-1和1,-1、1和1,-2、2和2,-3、3和2,-4、4和2,-4、4和2,-5、5和2,-5、5和3,-5、6和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5和-7、5和-6、5和-5、5和-4、5和-3、5和-2、5和-1、5和0、5和1、5和2、5和3、5和4、5和5、5和6、5和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为3、1和6,2、1和0,1、1和-3,3、0和0,-1、-1和3,-2、1和3,-3、-1和3,-3、1和3,-3、3和3,-4、4和3,-5、5和3,-5、5和3,-5、6和3,-5、6和4,-6、6和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-7、6和-6、6和-5、6和-4、6和-3、6和-2、6和-1、6和0、6和1、6和2、6和3、6和4、6和5、6和6、6和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为1、0和6,1、0和1,1、1和1,0、1和1,0、1和4,-2、1和4,-4、1和4,-4、2和4,-4、4和3,-4、4和3,-5、5和3,-5、5和3,-5、6和3,-5、6和4,-6、6和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7和-7、7和-6、7和-5、7和-4、7和-3、7和-2、7和-1、7和0、7和1、7和2、7和3、7和4、7和5、7和6、7和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为-1、-1和6,0、0和5,1、1和5,1、2和5,1、3和5,-2、3和5,-5、3和5,-5、4和4,-5、5和3,-5、5和3,-5、5和3,-5、5和3,-6、6和3,-6、6和4,-6、6和6。

一种馈能式磁流变弹性体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,具体涉及一种馈能式磁流变弹性体车辆减振装置及其控制方法。

背景技术

[0002] 磁流变液是一种智能材料,在外磁场作用下能在瞬间(毫秒级)从自由流动液体转变为半固体,呈现可控的屈服强度,而且该变化是可逆的,以智能材料磁流变液为工作液体的阻尼器相比于常规阻尼器,具有结构简单、输出阻尼力连续可调、动态范围宽、响应速度快、方便与计算机控制相结合等优异特性。已经开始广泛地应用于交通运输、工程建设、航空宇航以及自动武器系统等振动控制领域,并取得了良好的控制效果。将磁流变阻尼器用在车辆悬架上,构成了车辆半主动悬架,通过匹配合适的控制策略,即可根据车辆的运动状态和路面状况来抑制车身的振动,达到与主动悬架一样的控制效果,从而解决了被动悬架的刚度、阻尼系数等特性参数是固定不变的缺陷,以及主动悬架能耗高,系统复杂及可靠性较差等问题。但是,当前采用的磁流变材料通常为液体材料,制成的减振阻尼装置在使用过程中存在易沉降、稳定性差和密封困难等问题。

[0003] 磁流变弹性体作为磁流变材料的一个新的分支,是由高分子聚合物(如橡胶等)和铁磁性颗粒在外加磁场作用下固化而成,兼有磁流变材料和弹性体的优点,又克服了磁流变液易沉降、稳定性差等缺点,故在结构的振动隔离与控制中更有望具有更好的应用前景。同时由于磁流变弹性体在工作时需要外部电源设备为其活塞线圈提供直流电能,以产生控制内部磁性颗粒的磁场。然而如果能够收集外界环境振动能给磁流变阻尼器供电,又能够把多余的电能储存起来,供给汽车其他用电设备,省去外加电源设备,实现磁流变弹性体减振器的自供电,即可减小振动控制系统的体积、重量、成本,提高可靠性,从而促进磁流变减振技术进一步发展。

[0004] 申请号为201510213495.0的中国专利公开了一种智能磁流变弹性体减振器,主要由绝缘外壳、减震杆、上导电压板、下导电压板、压电陶瓷、导磁支架、线圈、上永磁体、下永磁体及磁流变弹性体组成,其压电陶瓷安装在上导电压板和下导电压板之间,以实现馈能,线圈安装在导磁支架外壁上的环形凹槽内,以产生磁流变弹性体控制所需的磁场,磁流变弹性体位于上永磁体和下永磁体之间,从而产生预紧弹性力,虽然也能实现馈能与减振的目的,但是,一方面磁流变弹性体只有一块且其形状是圆柱形的,减振变形不太明显,虽然加上了导磁支架,但在所需大的可控阻尼力情况下,不能更好的提供所需的磁场强度,另一方面由于只有一层压电材料,馈能有限,有可能不能满足所需的电能,从而极大影响了其减振效果,此外还未涉及到控制方面。

[0005] 现有技术中还缺乏结构紧凑、工作稳定性和可靠性高、馈能效率高、能够有效减振的馈能式磁流变弹性体车辆减振装置。而且,现有技术中对馈能式磁流变弹性体车辆减振装置的控制方法还有待改善,还不能够使馈能式磁流变弹性体车辆减振装置处于最佳的减振状态。

发明内容

[0006] 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、实现方便且成本低、能有效地回收振动能量、馈能效率高、工作稳定性和可靠性高、减振性能好、实用性强的馈能式磁流变弹性体车辆减振装置。

[0007] 为解决上述技术问题,本发明采用的技术方案是:一种馈能式磁流变弹性体车辆减振装置,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缸筒和设置在缸筒内的活塞杆,所述活塞杆的上部通过上滑动轴承连接有上弹簧卡座,所述活塞杆的中部套装有多个压电模块和多个磁流变弹性体,多个压电模块和多个磁流变弹性体相互间隔设置,相邻的压电模块和磁流变弹性体通过双面粘性薄铁板粘接,所述双面粘性薄铁板上粘接有位于磁流变弹性体外侧的导磁支架,所述导磁支架上缠绕有励磁线圈,所述压电模块中镶嵌有压电振子;所述活塞杆的下部通过下滑动轴承连接在下弹簧卡座和固定连接在下弹簧卡座顶部的下弹簧压板,所述下弹簧卡座内卡合连接有下端与缸筒内底壁固定连接的下传力弹簧,所述下弹簧压板通过双面粘性薄铁板与位于最底层的磁流变弹性体粘接;位于最顶层的压电模块的顶部通过双面粘性薄铁板粘接有上弹簧压板,所述上弹簧卡座内卡合连接有下端与上弹簧压板固定连接的上传力弹簧,所述上弹簧卡座的顶部固定连接支撑架,所述支撑架的顶部固定连接上吊环,所述缸筒的底部固定连接下吊环;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,所述缸筒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,所述蓄电池充电电路接在整流器与车载蓄电池之间,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,所述整流器的输入端与串联后的多个压电振子连接。

[0008] 上述的一种馈能式磁流变弹性体车辆减振装置,其特征在于:所述活塞杆的轴向中心设置有供连接励磁线圈与可控恒流源电路的输出端的导线以及连接整流器的输入端与串联后的多个压电振子的导线穿过的中心孔。

[0009] 上述的一种馈能式磁流变弹性体车辆减振装置,其特征在于:所述下传力弹簧的刚度大于上传力弹簧的刚度。

[0010] 上述的一种馈能式磁流变弹性体车辆减振装置,其特征在于:所述导磁支架的厚度小于磁流变弹性体的厚度。

[0011] 上述的一种馈能式磁流变弹性体车辆减振装置,其特征在于:所述磁流变弹性体为中间粗两端细的形状。

[0012] 上述的一种馈能式磁流变弹性体车辆减振装置,其特征在于:所述双面粘性薄铁板的厚度为0.5mm~0.15mm。

[0013] 本发明还提供了一种实现方便、控制效率高、能够使馈能式磁流变弹性体车辆减振装置处于最佳的减振状态的馈能式磁流变弹性体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:

[0014] 步骤I、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;

[0015] 步骤II、当车辆行驶在不平路面上时,一方面,上吊环与下吊环产生相对运动,上吊环带动支撑架和上弹簧卡座上下运动,上弹簧卡座把其所受的力通过上传力弹簧传递给上弹簧压板,上弹簧压板再把其所受的力通过双面粘性薄铁板传递给压电模块和压电振子,使压电振子发生正压电效应,产生电能并通过整流器整流后,再经过蓄电池充电电路给车载蓄电池充电,车载蓄电池输出电能给可控恒流源电路(28);另一方面,所述减振装置控制器根据模糊PID控制的方法对其采样得到的簧载质量位移和非簧载质量位移进行分析处理,得到励磁线圈需要的输入电流并控制可控恒流源电路(28)的输出电流为励磁线圈需要的输入电流,实时调节励磁线圈的输入电流,从而产生强度可变的磁场作用在磁流变弹性体上,即实时调节磁流变弹性体的刚度和阻尼,磁流变弹性体将其所受的力依次向下传递,通过下弹簧压板和下弹簧卡座进一步将力传递给下传力弹簧,实现了馈能减振的目的。

[0016] 上述的方法,其特征在于:步骤II中所述减振装置控制器根据模糊PID控制的方法对其采样得到的簧载质量位移和非簧载质量位移进行分析处理,得到励磁线圈需要的输入电流的具体过程为:

[0017] 步骤一、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 ;

[0018] 步骤二、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 ;

[0019] 步骤三、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 $|e_i| < 0.02$ 时, K_1^i 的值取为150,当 $0.02 \leq |e_i| \leq 0.04$ 时, K_1^i 的值取为120,当 $|e_i| > 0.04$ 时, K_1^i 的值取为100;偏差 e_i 的量化量 E_i 的论域为 $[-7, 7]$;

[0020] 步骤四、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 $|e_c^i| < 0.08$ 时, K_2^i 的值取为7,当 $0.08 \leq |e_c^i| \leq 0.6$ 时, K_2^i 的值取为6,当 $|e_c^i| > 0.6$ 时, K_2^i 的值取为4;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 $[-7, 7]$;

[0021] 步骤五、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' ;

[0022] 步骤六、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 ;

[0023] 步骤七、减振装置控制器根据模糊PID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,得到第 i 次采样时模糊控制部分的输出 ΔK_{p_i} 、 ΔK_{i_i} 、 ΔK_{d_i} ,即第 i 次采样时PID控制部分的比例参数的动态调整量 ΔK_{p_i} 、积分参数的动态调整量 ΔK_{i_i} 和微分参数的动态调整量 ΔK_{d_i} ;

[0024] 步骤八、减振装置控制器根据公式
$$\begin{cases} K_p(i) = K_p(i-1) + \Delta K_{p_i} \times q_p \\ K_i(i) = K_i(i-1) + \Delta K_{i_i} \times q_i \\ K_d(i) = K_d(i-1) + \Delta K_{d_i} \times q_d \end{cases}$$
对第 i 次采样时PID

控制部分比例参数的动态调整量 ΔK_{p_i} 、积分参数的动态调整量 ΔK_{i_i} 和微分参数的动态调整量 ΔK_{d_i} 进行整定,得到第 i 次采样时PID控制部分的比例控制参数 $K_p(i)$ 、积分控制参数 $K_i(i)$ 和微分控制参数 $K_d(i)$;其中, $K_p(i-1)$ 为第 $i-1$ 次采样时控制PID控制部分的比例控制参数, $K_i(i-1)$ 为第 $i-1$ 次采样时控制PID控制部分的积分控制参数, $K_d(i-1)$ 为第 $i-1$ 次采样时控制PID控制部分的微分控制参数, q_p 为PID控制部分的比例控制参数的校正速度量且 q_p 的取值为1~10, q_i 为PID控制部分的积分控制参数的校正速度量且 q_i 的取值为1~10, q_d 为PID控制部分的微分控制参数的校正速度量且 q_d 的取值为1~10;

[0025] 步骤九、减振装置控制器根据公式 $I(i) = K_p(i) \times e_i + K_i(i) \times \sum_{k=0}^i e_k + K_d(i) \times [e_i - e_{i-1}]$ 计算得到

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(28)的输出电流 $I(i)$;其中, k 为0~ i 的自然数。

[0026] 上述的方法,其特征在于:步骤七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;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;

[0028] 步骤702、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 的取值为非0的自然数;

[0029] 步骤703、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704、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 $|e_i| < 0.02$ 时, K_1^i 的值取为150,当 $0.02 \leq |e_i| \leq 0.04$ 时, K_1^i 的值取为120,当 $|e_i| > 0.04$ 时, K_1^i 的值取为100;偏差 e_i 的量化量 E_i 的论域为 $[-7, 7]$;

[0031] 步骤705、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 $|e_c^i| < 0.08$ 时, K_2^i 的值取为7,当 $0.08 \leq |e_c^i| \leq 0.6$ 时, K_2^i 的值取为6,当 $|e_c^i| > 0.6$ 时, K_2^i 的值取为4;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 $[-7, 7]$;

[0032] 步骤706、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、零正、零负、负小、负中、负大};

[0034] 步骤7062、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

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

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, $a_1 = 5, b_1 = 7, c_1 = 9$;当模糊状态为正中时, $a_1 = 3, b_1 = 5, c_1 = 7$;当模糊状态为正小时, $a_1 = 1, b_1 = 3, c_1 = 5$;当模糊状态为正零时, $a_1 = -1, b_1 = 1, c_1 = 3$;当模糊状态为负零时, $a_1 = -3, b_1 = -1, c_1 = 1$;当模糊状态为负小时, $a_1 = -5, b_1 = -3, c_1 = -1$;当模糊状态为负中时, $a_1 = -7, b_1 = -5, c_1 = -3$;当模糊状态为负大时, $a_1 = -9, b_1 = -7, c_1 = -5$;

[0035] 步骤707、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、零正、零负、负小、负中、负大};

[0037] 步骤7072、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 的三角形隶

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

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, $a_2=5, b_2=7, c_2=9$; 当模糊状态为正中时, $a_2=3, b_2=5, c_2=7$; 当模糊状态为正小时, $a_2=1, b_2=3, c_2=5$; 当模糊状态为正零时, $a_2=-1, b_2=1, c_2=3$; 当模糊状态为负零时, $a_2=-3, b_2=-1, c_2=1$; 当模糊状态为负小时, $a_2=-5, b_2=-3, c_2=-1$; 当模糊状态为负中时, $a_2=-7, b_2=-5, c_2=-3$; 当模糊状态为负大时, $a_2=-9, b_2=-7, c_2=-5$;

[0038] 步骤708、定义模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 的模糊状态集合均为 {正大、正中、正小、零正、零负、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部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 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出模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 的模糊状态;

[0039] 其中, 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 对应的模糊输入状态分别为负大和负大、负大和负中、负大和负小、负大和零负、负大和零正、负大和正小、负大和正中、负大和正大时, 模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 分别为正大、负大和负中, 正大、负大和负小, 正中、负中和零负, 正中、负中和零负, 正小、负小和零正, 正小、负小和零正, 零正、零负和负小, 零正、零正和负小;

[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 对应的模糊输入状态分别为负中和负大、负中和负中、负中和负小、负中和零负、负中和零正、负中和正小、负中和正中、负中和正大时, 模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 分别为正大、负大和正小, 正中、负大和负小, 正小、负中和负大, 正小、负小和负大, 正小、负小和负大, 零正、零负和负中, 零正、零正和正小;

[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 对应的模糊输入状态分别为负小和负大、负小和负中、负小和负小、负小和零负、负小和零正、负小和正小、负小和正中、负小和正大时, 模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 分别为

正中、负大和零负,正中、负中和负小,正中、负小和负中,正小、零负和负中,零正、零正和负小,零负、零正和负小,负小、正小和负小,负小、正小和零负;

[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 对应的模糊输入状态分别为零负和负大、零负和负中、零负和负小、零负和零负、零负和零正、零负和正小、零负和正中、零负和正大时,模糊控制部分的输出 ΔK_{p_i} 、 ΔK_{i_i} 和 ΔK_{d_i} 分别为正中、负中和零负,正小、负小和零负,正小、零负和负小,零正、零正和负小,零负、零正和负中,零负、零正和负小,负小、正小和零负,负小、正小和零负;

[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 对应的模糊输入状态分别为零正和负大、零正和负中、零正和负小、零正和零负、零正和零正、零正和正小、零正和正中、零正和正大时,模糊控制部分的输出 ΔK_{p_i} 、 ΔK_{i_i} 和 ΔK_{d_i} 分别为零正、负中和负中,零正、负小和负小,零正、零负和零负,零负、零正和零负,零负、零正和零正,负小、正小和正小,负中、正中和正中,负中、正大和正大;

[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 对应的模糊输入状态分别为正小和负大、正小和负中、正小和负小、正小和零负、正小和零正、正小和正小、正小和正中、正小和正大时,模糊控制部分的输出 ΔK_{p_i} 、 ΔK_{i_i} 和 ΔK_{d_i} 分别为正小、负中和零负,正小、负小和零负,零正、零负和零负,零正、零负和零负,零负、零正和零正,负小、正小和零正,负中、正中和零正,负中、负大和零正;

[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 对应的模糊输入状态分别为正中和负大、正中和负中、正中和负小、正中和零负、正中和零正、正中和正小、正中和正中、正中和正大时,模糊控制部分的输出 ΔK_{p_i} 、 ΔK_{i_i} 和 ΔK_{d_i} 分别为正小、零正和正大,零正、零正和负小,零负、零负和正小,负小、零负和正小,负小、正小和正小,负中、正中和正小,负中、正大和正小,负大、正大和正大;

[0047] 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 对应的模糊输入状态分别为正大和负大、正大和负中、正大和负小、正大和零负、正大和零正、正大和正小、正大和正中、正大和正大时,模糊控制部分的输出 ΔK_{p_i} 、 ΔK_{i_i} 和 ΔK_{d_i} 分别为零正、零负和正大,零正、零正和正中,零正、正小和正中,负中、正小和正中,负中、正中和正小,负中、正中和正小,负大、正大和正小,负大、正大和正大;

[0048] 步骤709、对所述模糊控制部分的输出 ΔK_{p_i} 、 ΔK_{i_i} 和 ΔK_{d_i} 的模糊状态进行反模糊化处理,其具体过程为:

[0049] 步骤7091、定义所述模糊控制部分的输出 ΔK_{p_i} 、 ΔK_{i_i} 和 ΔK_{d_i} 的论域均为 $[-6, 6]$;

[0050] 步骤7092、减振装置控制器根据所述模糊控制部分的输出 ΔK_{p_i} 、 ΔK_{i_i} 和 ΔK_{d_i} 的

$$\text{三角形隶属函数 } \text{trimf}(\Delta K_{p_i}, \Delta K_{i_i}, \Delta K_{d_i}, a_3, b_3, c_3) = \left. \begin{cases} 0, & \Delta \leq a_3 \\ \frac{\Delta - a_3}{b_3 - a_3}, & a_3 \leq \Delta \leq b_3 \\ \frac{c_3 - \Delta}{c_3 - b_3}, & b_3 \leq \Delta \leq c_3 \\ 0 & c_3 \leq \Delta \end{cases} \right\} \text{计算得到模糊控制}$$

部分的输出 ΔK_{p_i} 、 ΔK_{i_i} 和 ΔK_{d_i} 的各个模糊状态下模糊控制部分的输出 ΔK_{p_i} 、 ΔK_{i_i} 和 Δ

Kd_i 的论域 $[-6,6]$ 中每个整数对应的隶属度值 $\text{trimf}(\Delta Kp_i, \Delta Ki_i, \Delta Kd_i, a_3, b_3, c_3)$,并将某个模糊状态下模糊控制部分的输出 ΔKp_i 、 ΔKi_i 和 ΔKd_i 的论域 $[-6,6]$ 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部分的输出 ΔKp_i 、 ΔKi_i 和 ΔKd_i 的值确定为所述模糊控制部分的输出 ΔKp_i 、 ΔKi_i 和 ΔKd_i 反模糊化的结果;其中, a_3 为模糊控制部分的输出 ΔKp_i 、 ΔKi_i 和 ΔKd_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 为模糊控制部分的输出 ΔKp_i 、 ΔKi_i 和 ΔKd_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 为模糊控制部分的输出 ΔKp_i 、 ΔKi_i 和 ΔKd_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, $a_3=1, b_3=3, c_3=5$;当模糊状态为正零时, $a_3=-1, b_3=1, c_3=3$;当模糊状态为负零时, $a_3=-3, b_3=-1, c_3=1$;当模糊状态为负小时, $a_3=-5, b_3=-3, c_3=-1$;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, $a_3=-9, b_3=-7, c_3=-5$;

[0051] 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 $[-7,7]$ 内的15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 $[-7,7]$ 内的15个整数的225种组合与所述模糊控制部分的输出 ΔKp_i 、 ΔKi_i 和 ΔKd_i 反模糊化的结果的一一对应关系;

[0052] 步骤7011、将偏差 e_i 的量化量 E_i 的论域 $[-7,7]$ 内的15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 $[-7,7]$ 内的15个整数的225种组合与所述模糊控制部分的输出 ΔKp_i 、 ΔKi_i 和 ΔKd_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。

[0053] 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:

[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-7和-7、-7和-6、-7和-5、-7和-4、-7和-3、-7和-2、-7和-1、-7和0、-7和1、-7和2、-7和3、-7和4、-7和5、-7和6、-7和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔKp_i 、 ΔKi_i 和 ΔKd_i 反模糊化的结果分别为6、-6和-5,6、-6和-4,6、-6和-3,5、-5和-2,5、-5和-1,5、-5和-1,5、-5和-1,4、-4和-1,3、-3和-1,3、-3和-1,3、-3和-1,2、-2和-2,1、1和-3,1、0和-3,1、1和-3;

[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-7、-6和-6、-6和-5、-6和-4、-6和-3、-6和-2、-6和-1、-6和0、-6和1、-6和2、-6和3、-6和4、-6和5、-6和6、-6和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔKp_i 、 ΔKi_i 和 ΔKd_i 反模糊化的结果分别为6、-6和-1,5、-6和-1,5、-6和-2,4、-5和-3,4、-5和-3,4、-4和-3,4、-4和-3,4、-4和-3,3、-3和-3,3、-3和-3,3、-3和-3,2、-2和-3,1、-1和-4,1、0和-1,1、1和0;

[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-5和-7、-5和-6、-5和-5、-5和-4、-5和-3、-5和-2、-5和-1、-5和0、-5和1、-5和2、-5和3、-5和4、-5和5、-5和6、-5和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔKp_i 、 ΔKi_i 和 ΔKd_i 反模糊化的结果分别为6、-6和3,5、-6和0,5、-6和-3,4、-5和-4,3、-5和-6,3、-4和-6,3、-3和-6,3、-3和-6,3、-3和-6,3、-3和-6,2、-2和-5,1、-1和-5,1、0和-1,1、1和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-4和-7、-4和-6、-4和-5、-4和-4、-4和-3、-4和-2、-4和-1、-4和0、-4和1、-4和2、-4和3、-4和4、-4和5、-4和6、-4和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔKp_i 、 ΔKi_i 和 ΔKd_i 反模糊化的结果分别为5、-6和1,5、-5和0,5、-5和-3,4、-4和-4,4、-4和-5,4、-3和-5,3、-2和-5,2、-1和-4,2、-1和-4,1、-1和-4,1、-1和-4,0、0和-4,-1、1和-4,1、-1和-1,-1、2和1;

[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-3和-7、-3和-6、-3和-5、-3和-4、-3和-3、-3和-2、-3和-1、-3和0、-3和1、-3和2、-3和3、-3和4、-3和5、-3和6、-3和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为5、-6和-1,5、-5和-2,5、-5和-3,5、-4和-4,5、-3和-5,4、-2和-5,3、-1和-5,2、3和-4,1、1和-3,0、1和-3,-1、1和-3,-2、2和-3,-3、3和-3,-3、3和-2,-3、3和-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-2和-7、-2和-6、-2和-5、-2和-4、-2和-3、-2和-2、-2和-1、-2和0、-2和1、-2和2、-2和3、-2和4、-2和5、-2和6、-2和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为5、-5和-1,4、-4和-2,4、-4和-2,4、-3和-3,4、-2和-4,3、-1和-4,2、0和-4,1、3和-4,0、1和-4,0、1和-4,0、1和-3,-2、2和-2,-3、3和-2,-3、3和-2,-3、3和-1;

[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-7、-1和-6、-1和-5、-1和-4、-1和-3、-1和-2、-1和-1、-1和0、-1和1、-1和2、-1和3、-1和4、-1和5、-1和6、-1和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为5、-5和-1,4、-4和-1,3、-3和-1,3、-2和-2,3、-1和-3,2、0和-3,1、0和-3,0、1和-4,-1、1和-5,-1、1和-4,-1、1和-3,-2、2和-2,-3、3和-1,-3、3和-1,-3、3和-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0和-7、0和-6、0和-5、0和-4、0和-3、0和-2、0和-1、0和0、0和1、0和2、0和3、0和4、0和5、0和6、0和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为3、-5和-3,3、-4和-3,2、-3和-2,2、-2和-2,2、-1和-2,1、0和-2,0、1和-2,3、1和-2,-1、1和-2,-2、2和-1,-2、2和0,-3、3和1,-4、4和2,-4、4和3,-4、4和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1和-7、1和-6、1和-5、1和-4、1和-3、1和-2、1和-1、1和0、1和1、1和2、1和3、1和4、1和5、1和6、1和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为1、-5和-5,1、-4和-4,1、-3和-3,1、-2和-2,1、-1和-1,0、0和-1,-1、1和-1,-1、1和3,-1、1和1,-2、2和2,-3、3和3,-4、4和4,-5、5和5,-5、5和5,-5、6和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-7、2和-6、2和-5、2和-4、2和-3、2和-2、2和-1、2和0、2和1、2和2、2和3、2和4、2和5、2和6、2和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为2、-5和-3,2、-4和-3,2、-3和-2,2、-2和-2,1、-1和-1,0、0和-1,0、0和-1,3、3和3,-1、1和1,-2、2和2,-3、3和2,-4、4和3,-5、5和3,-5、5和3,-5、6和2;

[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-7、3和-6、3和-5、3和-4、3和-3、3和-2、3和-1、3和0、3和1、3和2、3和3、3和4、3和5、3和6、3和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为3、-5和-1,3、-4和-1,3、-3和-1,2、-2和-1,1、-1和-1,1、-1和-1,1、-1和-1,3、3和3,-1、1和1,-2、2和1,-3、3和1,-4、4和1,-5、5和1,-5、5和1,-5、6和1;

[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-7、4和-6、4和-5、4和-4、4和-3、4和-2、4和-1、4和0、4和1、4和2、4和3、4和4、4和5、4和6、4和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为3、-2和1,2、-2和0,

2、-1和-2,1,-1和0,0,-1和1,-1,-1和1,-1,-1和1,-1,1和1,-2,2和2,-3,3和2,-4,4和2,-4,4和2,-5,5和2,-5,5和3,-5,6和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5和-7、5和-6、5和-5、5和-4、5和-3、5和-2、5和-1、5和0、5和1、5和2、5和3、5和4、5和5、5和6、5和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{p_i} 、 ΔK_{i_i} 和 ΔK_{d_i} 反模糊化的结果分别为3、1和6,2、1和0,1、1和-3,3、0和0,-1,-1和3,-2、1和3,-3,-1和3,-3、1和3,-3、3和3,-4、4和3,-5、5和3,-5、5和3,-5、6和3,-5、6和4,-6、6和6;

[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6和-7、6和-6、6和-5、6和-4、6和-3、6和-2、6和-1、6和0、6和1、6和2、6和3、6和4、6和5、6和6、6和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{p_i} 、 ΔK_{i_i} 和 ΔK_{d_i} 反模糊化的结果分别为1、0和6,1、0和1,1、1和1,0、1和1,0、1和4,-2、1和4,-4、1和4,-4、2和4,-4、4和3,-4、4和3,-5、5和3,-5、5和3,-5、6和3,-5、6和4,-6、6和6;

[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7和-7、7和-6、7和-5、7和-4、7和-3、7和-2、7和-1、7和0、7和1、7和2、7和3、7和4、7和5、7和6、7和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{p_i} 、 ΔK_{i_i} 和 ΔK_{d_i} 反模糊化的结果分别为-1,-1和6,0、0和5,1、1和5,1、2和5,1、3和5,-2、3和5,-5、3和5,-5、4和4,-5、5和3,-5、5和3,-5、5和3,-5、5和3,-6、6和3,-6、6和4,-6、6和6。

[0069] 本发明与现有技术相比具有以下优点:

[0070] 1、本发明的馈能式磁流变弹性体车辆减振装置的结构简单,设计新颖合理,实现方便且成本低,使用操作方便。

[0071] 2、本发明通过运用磁流变弹性体并结合压电模块,实现了一种车辆减振装置,再结合相应的控制策略,能够对其受到的颠簸、冲击等,依据不同的工况,通过控制励磁线圈的电流,从而调节磁流变弹性体所受磁作用的强度大小,进行主动实时调节磁流变弹性体的刚度和阻尼,从而达到了连续有效减振的目的。

[0072] 3、本发明在磁流变弹性体与压电模块的布置上进行了创新,磁流变弹性体与压电模块通过双面粘性薄铁板粘合在一起交错层叠放置,而且考虑到磁场越强所能调节的阻尼力越大,在每块磁流变弹性体外侧设置了导磁支架,在导磁支架上缠绕了励磁线圈,达到了阻尼力调节范围更宽、结构紧凑的目的。

[0073] 4、本发明布设了两个传力弹簧,并且下传力弹簧的刚度大于上传力弹簧,能够提高该车辆减振装置的减振性能,且提高了该车辆减振装置工作的稳定性和可靠性,能够提高车辆操作、乘坐的舒适性。

[0074] 5、本发明通过将磁流变弹性体设置为中间粗两端细的形状,能够增加振幅大小,增强减振效果。

[0075] 6、本发明即使在减振装置控制器的控制失效的情况下,依然可以作为被动减振器来使用。

[0076] 7、本发明的馈能式磁流变弹性体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,然后每次对车辆减振装置进行控制,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。

[0077] 8、本发明的既实现了良好的减振效果,又实现了能量回馈,节约了电能,对于多余的电能可以进行有效的回收,供给其他耗能设备使用。

[0078] 9、本发明的实用性强,使用效果好,便于推广使用。

[0079] 综上所述,本发明的实现方便且成本低,工作稳定性和可靠性高,馈能效果好,减振性能好,实用性强,便于推广使用。

[0080] 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

[0081] 图1为本发明馈能式磁流变弹性体车辆减振装置的结构示意图。

[0082] 图2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。

[0083] 图3为本发明偏差 e_i 的量化量 E_i 的三角形隶属函数图。

[0084] 图4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。

[0085] 图5为本发明模糊控制部分的输出 ΔK_{p_i} 的三角形隶属函数图。

[0086] 图6为本发明模糊控制部分的输出 ΔK_{i_i} 的三角形隶属函数图。

[0087] 图7为本发明模糊控制部分的输出 ΔK_{d_i} 的三角形隶属函数图。

[0088] 附图标记说明:

[0089] 1—下吊环; 2—缸筒; 3—下传力弹簧;

[0090] 4—下弹簧卡座; 5—下弹簧压板; 6—上弹簧压板;

[0091] 7—上传力弹簧; 8—上弹簧卡座; 9—支撑架;

[0092] 10—上吊环; 11—上滑动轴承; 12—活塞杆;

[0093] 13—活塞杆; 14—双面粘性薄铁板; 15—整流器;

[0094] 16—压电振子; 17—磁流变弹性体; 18—压电模块;

[0095] 19—励磁线圈; 20—导磁支架; 21—下滑动轴承;

[0096] 22—蓄电池充电电路; 23—车载蓄电池; 24—簧载质量位移传感器;

[0097] 25—非簧载质量位移传感器; 26—控制盒; 27—减振装置控制器;

[0098] 28—可控恒流源电路; 29—下滑动轴承。

具体实施方式

[0099] 如图1和图2所示,本发明的馈能式磁流变弹性体车辆减振装置,包括减振装置本体和减振装置控制器27,所述减振装置本体包括缸筒2和设置在缸筒2内的活塞杆12,所述活塞杆12的上部通过上滑动轴承11连接有上弹簧卡座8,所述活塞杆12的中部套装有多个压电模块18和多个磁流变弹性体17,多个压电模块18和多个磁流变弹性体17相互间隔设置,相邻的压电模块18和磁流变弹性体17通过双面粘性薄铁板14粘接,所述双面粘性薄铁板14上粘接有位于磁流变弹性体17外侧的导磁支架20,所述导磁支架20上缠绕有励磁线圈19,所述压电模块18中镶嵌有压电振子16;所述活塞杆12的下部通过下滑动轴承21连接有下弹簧卡座4和固定连接在下弹簧卡座4顶部的下弹簧压板5,所述下弹簧卡座4内卡合连接有下端与缸筒2内底壁固定连接的下传力弹簧3,所述下弹簧压板5通过双面粘性薄铁板14与位于最底层的磁流变弹性体17粘接;位于最顶层的压电模块18的顶部通过双面粘性薄铁

板14粘接有上弹簧压板6,所述上弹簧卡座8内卡合连接有下端与上弹簧压板6固定连接的上传力弹簧7,所述上弹簧卡座8的顶部固定连接支撑架9,所述支撑架9的顶部固定连接上吊环10,所述缸筒2的底部固定连接下吊环1;所述减振装置控制器27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24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25,所述缸筒2的外壁上设置有控制盒26,所述减振装置控制器27设置在控制盒26内,所述控制盒26内还设置有整流器15、用于为车载蓄电池23充电的蓄电池充电电路22和用于为励磁线圈19提供稳定的输入电流的可控恒流源电路28,所述蓄电池充电电路22接在整流器15与车载蓄电池23之间,所述可控恒流源电路28与车载蓄电池23的输出端和减振装置控制器27的输出端连接,所述励磁线圈19与可控恒流源电路28的输出端连接,所述整流器15的输入端与串联后的多个压电振子16连接。具体实施时,所述双面粘性薄铁板14是通过在薄铁板的上表面和下表面均涂抹结构胶制成的。

[0100] 如图1所示,本实施例中,所述活塞杆12的轴向中心设置有供连接励磁线圈19与可控恒流源电路28的输出端的导线以及连接整流器15的输入端与串联后的多个压电振子16的导线穿过的中心孔13。

[0101] 本实施例中,所述下传力弹簧3的刚度大于上传力弹簧7的刚度。所述导磁支架20的厚度小于磁流变弹性体17的厚度。

[0102] 本实施例中,所述磁流变弹性体17为中间粗两端细的形状。通过将磁流变弹性体17设置为中间粗两端细的形状,能够增加振幅大小,增强减振效果。

[0103] 本实施例中,所述双面粘性薄铁板14的厚度为0.5mm~0.15mm。

[0104] 本发明的馈能式磁流变弹性体车辆减振装置的控制方法,包括以下步骤:

[0105] 步骤I、簧载质量位移传感器24对簧载质量位移进行实时检测,非簧载质量位移传感器25对非簧载质量位移进行实时检测;减振装置控制器27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;

[0106] 步骤II、当车辆行驶在不平路面上时,一方面,上吊环10与下吊环1产生相对运动,上吊环10带动支撑架9和上弹簧卡座8上下运动,上弹簧卡座8把其所受的力通过上传力弹簧7传递给上弹簧压板6,上弹簧压板6再把其所受的力通过双面粘性薄铁板14传递给压电模块18和压电振子16,使压电振子16发生正压电效应,产生电能并通过整流器15整流后,再经过蓄电池充电电路22给车载蓄电池23充电,车载蓄电池23输出电能给可控恒流源电路28;另一方面,所述减振装置控制器27根据模糊PID控制的方法对其采样得到的簧载质量位移和非簧载质量位移进行分析处理,得到励磁线圈19需要的输入电流并控制可控恒流源电路28的输出电流为励磁线圈19需要的输入电流,实时调节励磁线圈19的输入电流,从而产生强度可变的磁场作用在磁流变弹性体17上,即实时调节磁流变弹性体17的刚度和阻尼,磁流变弹性体17将其所受的力依次向下传递,通过下弹簧压板5和下弹簧卡座4进一步将力传递给下传力弹簧3,实现了馈能减振的目的。

[0107] 本实施例中,步骤II中所述减振装置控制器27根据模糊PID控制的方法对其采样得到的簧载质量位移和非簧载质量位移进行分析处理,得到励磁线圈19需要的输入电流的具体过程为:

[0108] 步骤一、减振装置控制器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 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 ;

[0109] 步骤二、减振装置控制器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 ;

[0110] 步骤三、减振装置控制器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 $|e_i| < 0.02$ 时, K_1^i 的值取为150,当 $0.02 \leq |e_i| \leq 0.04$ 时, K_1^i 的值取为120,当 $|e_i| > 0.04$ 时, K_1^i 的值取为100;偏差 e_i 的量化量 E_i 的论域为 $[-7, 7]$;

[0111] 步骤四、减振装置控制器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 $|e_c^i| < 0.08$ 时, K_2^i 的值取为7,当 $0.08 \leq |e_c^i| \leq 0.6$ 时, K_2^i 的值取为6,当 $|e_c^i| > 0.6$ 时, K_2^i 的值取为4;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 $[-7, 7]$;

[0112] 步骤五、减振装置控制器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' ;

[0113] 步骤六、减振装置控制器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 ;

[0114] 步骤七、减振装置控制器27根据模糊PID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27内部存储器中的由减振装置控制器27预先制定好的模糊控制查询表,得到第i次采样时模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 、 ΔK_{di} ,即第i次采样时PID控制部分的比例参数的动态调整量 ΔK_{pi} 、积分参数的动态调整量 ΔK_{ii} 和微分参数的动态调整量 ΔK_{di} ;

[0115] 步骤八、减振装置控制器27根据公式
$$\begin{cases} K_p(i) = K_p(i-1) + \Delta K_{pi} \times q_p \\ K_i(i) = K_i(i-1) + \Delta K_{ii} \times q_i \\ K_d(i) = K_d(i-1) + \Delta K_{di} \times q_d \end{cases}$$
对第i次采样时

PID控制部分比例参数的动态调整量 ΔK_{pi} 、积分参数的动态调整量 ΔK_{ii} 和微分参数的动态调整量 ΔK_{di} 进行整定,得到第i次采样时PID控制部分的比例控制参数 $K_p(i)$ 、积分控制参数 $K_i(i)$ 和微分控制参数 $K_d(i)$;其中, $K_p(i-1)$ 为第i-1次采样时控制PID控制部分的比例控制参数, $K_i(i-1)$ 为第i-1次采样时控制PID控制部分的积分控制参数, $K_d(i-1)$ 为第i-1次采样时控制PID控制部分的微分控制参数, q_p 为PID控制部分的比例控制参数的校正速度量且 q_p

的取值为1~10, q_I 为PID控制部分的积分控制参数的校正速度量且 q_I 的取值为1~10, q_D 为PID控制部分的微分控制参数的校正速度量且 q_I 的取值为1~10;即下一步的PID控制部分的控制参数由当前的控制参数与模糊控制部分的模糊推理得出的动态调整量的加权求和得到;

[0116] 步骤九、减振装置控制器27根据公式 $I(i) = K_p(i) \times e_i + K_I(i) \times \sum_{k=0}^i e_k + K_D(i) \times [e_i - e_{i-1}]$ 计算得到励磁线圈19需要的输入电流 $I(i)$, 即减振装置控制器27控制可控恒流源电路28的输出电流 $I(i)$; 其中, k 为0~ i 的自然数。

[0117] 本实施例中, 步骤七中所述减振装置控制器27预先制定模糊控制查询表的过程为:

[0118] 步骤701、簧载质量位移传感器24对簧载质量位移进行实时检测, 非簧载质量位移传感器25对非簧载质量位移进行实时检测; 减振装置控制器27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;

[0119] 步骤702、减振装置控制器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 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 的取值为非0的自然数;

[0120] 步骤703、减振装置控制器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 ;

[0121] 步骤704、减振装置控制器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 $|e_i| < 0.02$ 时, K_1^i 的值取为150, 当 $0.02 \leq |e_i| \leq 0.04$ 时, K_1^i 的值取为120, 当 $|e_i| > 0.04$ 时, K_1^i 的值取为100; 偏差 e_i 的量化量 E_i 的论域为 $[-7, 7]$;

[0122] 步骤705、减振装置控制器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 $|e_c^i| < 0.08$ 时, K_2^i 的值取为7, 当 $0.08 \leq |e_c^i| \leq 0.6$ 时, K_2^i 的值取为6, 当 $|e_c^i| > 0.6$ 时, K_2^i 的值取为4; 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 $[-7, 7]$;

[0123] 步骤706、减振装置控制器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:

[0124] 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、零正、零负、负小、负中、负大};

[0125] 步骤7062、减振装置控制器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, $a_1=5, b_1=7, c_1=9$; 当模糊状态为正中时, $a_1=3, b_1=5, c_1=7$; 当模糊状态为正小时, $a_1=1, b_1=3, c_1=5$; 当模糊状态为正零时, $a_1=-1, b_1=1, c_1=3$; 当模糊状态为负零时, $a_1=-3, b_1=-1, c_1=1$; 当模糊状态为负小时, $a_1=-5, b_1=-3, c_1=-1$; 当模糊状态为负中时, $a_1=-7, b_1=-5, c_1=-3$; 当模糊状态为负大时, $a_1=-9, b_1=-7, c_1=-5$;

[0126] 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、将正零用字母表示为PZ、将负零用字母表示为NZ、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 $\text{trimf}(E_i, a_1, b_1, c_1)$ 。

[0127] 步骤707、减振装置控制器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:

[0128] 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、零正、零负、负小、负中、负大};

[0129] 步骤7072、减振装置控制器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, 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, $a_2=5, b_2=7, c_2=9$;当模糊状态为正中时, $a_2=3, b_2=5, c_2=7$;当模糊状态为正小时, $a_2=1, b_2=3, c_2=5$;当模糊状态为正零时, $a_2=-1, b_2=1, c_2=3$;当模糊状态为负零时, $a_2=-3, b_2=-1, c_2=1$;当模糊状态为负小时, $a_2=-5, b_2=-3, c_2=-1$;当模糊状态为负中时, $a_2=-7, b_2=-5, c_2=-3$;当模糊状态为负大时, $a_2=-9, b_2=-7, c_2=-5$;

[0130] 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、将正零用字母表示为PZ、将负零用字母表示为NZ、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 $\text{trimf}(E_c^i, a_2, b_2, c_2)$ 。

[0131] 步骤708、定义模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 的模糊状态集合均为{正大、正中、正小、零正、零负、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部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 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出模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 的模糊状态;

[0132] 其中,所述模糊控制规则为:

[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 对应的模糊输入状态分别为负大和负大、负大和负中、负大和负小、负大和零负、负大和零正、负大和正小、负大和正中、负大和正大时,模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 分别为正大、负大和负中,正大、负大和负小,正中、负中和零负,正中、负中和零负,正小、负小和零正,正小、负小和零正,零正、零负和负小,零正、零正和负小;

[0134] 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 对应的模糊输入状态分别为负中和负大、负中和负中、负中和负小、负中和零负、负中和零正、负中和正小、负中和正中、负中和正大时,模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 分别为正大、负大和正小,正中、负大和负小,正小、负中和负大,正小、负小和负大,正小、负小和负大,正小、负小和负大,零正、零负和负中,零正、零正和正小;

[0135] 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 对应的模糊输入状态分别为负小和负大、负小和负中、负小和负小、负小和零负、负小和零正、负小和正小、负小和正中、负小和正大时,模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 分别为正中、负大和零负,正中、负中和负小,正中、负小和负中,正小、零负和负中,零正、零正和负小,零负、零正和负小,负小、正小和负小,负小、正小和零负;

[0136] 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 对应的模糊输入状态分别为零负和负大、零负和负中、零负和负小、零负和零负、零负和零正、零负和正小、零负和正中、零负和正大时,模糊控制部分的输出 ΔK_{p_i} 、 ΔK_{i_i} 和 ΔK_{d_i} 分别为正中、负中和零负,正小、负小和零负,正小、零负和负小,零正、零正和负小,零负、零正和负中,零负、零正和负小,负小、正小和零负,负小、正小和零负;

[0137] 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 对应的模糊输入状态分别为零正和负大、零正和负中、零正和负小、零正和零负、零正和零正、零正和正小、零正和正中、零正和正大时,模糊控制部分的输出 ΔK_{p_i} 、 ΔK_{i_i} 和 ΔK_{d_i} 分别为零正、负中和负中,零正、负小和负小,零正、零负和零负,零负、零正和零负,零负、零正和零正,负小、正小和正小,负中、正中和正中,负中、正大和正大;

[0138] 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 对应的模糊输入状态分别为正小和负大、正小和负中、正小和负小、正小和零负、正小和零正、正小和正小、正小和正中、正小和正大时,模糊控制部分的输出 ΔK_{p_i} 、 ΔK_{i_i} 和 ΔK_{d_i} 分别为正小、负中和零负,正小、负小和零负,零正、零负和零负,零正、零负和零负,零负、零正和零正,正小、正小和零正,负中、正中和零正,负中、负大和零正;

[0139] 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 对应的模糊输入状态分别为正中和负大、正中和负中、正中和负小、正中和零负、正中和零正、正中和正小、正中和正中、正中和正大时,模糊控制部分的输出 ΔK_{p_i} 、 ΔK_{i_i} 和 ΔK_{d_i} 分别为正小、零正和正大,零正、零正和负小,零负、零负和正小,负小、零负和正小,负小、正小和正小,负中、正中和正小,负中、正大和正小,负大、正大和正大;

[0140] 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 对应的模糊输入状态分别为正大和负大、正大和负中、正大和负小、正大和零负、正大和零正、正大和正小、正大和正中、正大和正大时,模糊控制部分的输出 ΔK_{p_i} 、 ΔK_{i_i} 和 ΔK_{d_i} 分别为零正、零负和正大,零正、零正和正中,零正、正小和正中,负中、正小和正中,负中、正中和正小,负中、正中和正小,负大、正大和正小,负大、正大和正大;

[0141] 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、将正零用字母表示为PZ、将负零用字母表示为NZ、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:

[0142] 表1模糊控制规则表

[0143]

		e_c^i																							
		ΔKp_i						ΔKi_i						ΔKd_i											
		NB	NM	NS	NZ	PZ	PS	PM	PB	NB	NM	NS	NZ	PZ	PS	PM	PB	NB	NM	NS	NZ	PZ	PS	PM	PB
e_i	NB	PB	PB	PM	PM	PS	PS	PZ	PZ	NB	NB	NM	NM	NS	NS	NZ	PZ	NM	NS	NZ	NZ	PZ	PZ	NS	NS
	NM	PB	PM	PS	PS	PS	PS	PZ	PZ	NB	NB	NM	NS	NS	NS	NZ	PZ	PS	NS	NB	NB	NB	NB	NM	PS
	NS	PM	PM	PM	PS	PZ	NZ	NS	NS	NB	NM	NS	NZ	PZ	PZ	PS	PS	NZ	NS	NM	NM	NS	NS	NS	NZ
	NZ	PM	PS	PS	PZ	NZ	NZ	NS	NS	NM	NS	NZ	PZ	PZ	PZ	PS	PS	NZ	NZ	NS	NS	NM	NS	NZ	NZ
	PZ	PZ	PZ	PZ	NZ	NZ	NS	NM	NM	NM	NS	NZ	PZ	PZ	PS	PM	PB	NM	NS	NZ	NZ	PZ	PS	PM	PB
	PS	PS	PS	PZ	PZ	NZ	NS	NM	NM	NM	NS	NZ	NZ	PZ	PS	PM	PB	NZ	NZ	NZ	NZ	PZ	PZ	PZ	PZ
	PM	PS	PZ	NZ	NS	NS	NM	NM	NB	PZ	PZ	NZ	NZ	PS	PM	PB	PB	PB	NS	PS	PS	PS	PS	PS	PB

[0144]

	PB	PZ	PZ	NM	NM	NM	NB	NB	NZ	PZ	PS	PS	PM	PM	PB	PB	PB	PM	PM	PM	PS	PS	PS	PB
--	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

[0145] 步骤709、对所述模糊控制部分的输出 ΔKp_i 、 ΔKi_i 和 ΔKd_i 的模糊状态进行反模糊化处理,其具体过程为:

[0146] 步骤7091、定义所述模糊控制部分的输出 ΔKp_i 、 ΔKi_i 和 ΔKd_i 的论域均为 $[-6,6]$;

[0147] 步骤7092、减振装置控制器27根据所述模糊控制部分的输出 ΔKp_i 、 ΔKi_i 和 ΔKd_i

的三角形隶属函数 $\text{trimf}(\Delta Kp_i, \Delta Ki_i, \Delta Kd_i, a_3, b_3, c_3) = \left. \begin{matrix} 0, & \Delta \leq a_3 \\ \frac{\Delta - a_3}{b_3 - a_3}, & a_3 \leq \Delta \leq b_3 \\ \frac{c_3 - \Delta}{c_3 - b_3}, & b_3 \leq \Delta \leq c_3 \\ 0 & c_3 \leq \Delta \end{matrix} \right\}$ 计算得到模糊控

制部分的输出 ΔKp_i 、 ΔKi_i 和 ΔKd_i 的各个模糊状态下模糊控制部分的输出 ΔKp_i 、 ΔKi_i 和 ΔKd_i 的论域 $[-6,6]$ 中每个整数对应的隶属度值 $\text{trimf}(\Delta Kp_i, \Delta Ki_i, \Delta Kd_i, a_3, b_3, c_3)$,并将某个模糊状态下模糊控制部分的输出 ΔKp_i 、 ΔKi_i 和 ΔKd_i 的论域 $[-6,6]$ 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部分的输出 ΔKp_i 、 ΔKi_i 和 ΔKd_i 的值确定为所述模糊控制部分的输出 ΔKp_i 、 ΔKi_i 和 ΔKd_i 反模糊化的结果;其中, a_3 为模糊控制部分的输出 ΔKp_i 、 ΔKi_i 和 ΔKd_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 为模糊控制部分的输出 ΔKp_i 、 ΔKi_i 和 ΔKd_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 为模糊控制部分的输出 ΔKp_i 、 ΔKi_i 和 ΔKd_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, $a_3=1, b_3=3, c_3=5$;当模糊状态为正零时, $a_3=-1, b_3=1, c_3=3$;当模糊状态为负零时, $a_3=-3, b_3=-1, c_3=1$;当模糊状态为负小时, $a_3=-5, b_3=-3, c_3=-1$;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, $a_3=-9, b_3=-7, c_3=-5$;

[0148] 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、将正零用字母表示为PZ、将负零用字母表示为NZ、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,所述模糊控制部分的输出 ΔKp_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部分的输出 ΔKp_i 的论域,图5的纵坐标

为模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 对应的模糊状态的隶属度值 $\text{trimf}(\Delta K_{pi}, a_3, b_3, c_3)$; 所述模糊控制部分的输出 ΔK_{ii} 的三角形隶属函数用图形表示为图6的形式, 图6的横坐标为模糊控制部分的输出 ΔK_{ii} 的论域, 图6的纵坐标为模糊控制部分的输出 ΔK_{ii} 对应的模糊状态的隶属度值 $\text{trimf}(\Delta K_{ii}, a_3, b_3, c_3)$; 所述模糊控制部分的输出 ΔK_{di} 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部分的输出 ΔK_{di} 的论域, 图7的纵坐标为模糊控制部分的输出 ΔK_{di} 对应的模糊状态的隶属度值 $\text{trimf}(\Delta K_{di}, a_3, b_3, c_3)$ 。

[0149] 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 $[-7, 7]$ 内的15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 $[-7, 7]$ 内的15个整数的225种组合与所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果的一一对应关系;

[0150] 步骤7011、将偏差 e_i 的量化量 E_i 的论域 $[-7, 7]$ 内的15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 $[-7, 7]$ 内的15个整数的225种组合与所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果的一一对应关系制定成模糊控制查询表。

[0151] 本实施例中, 步骤7011中所述模糊控制查询表用语言描述为:

[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-7和-7、-7和-6、-7和-5、-7和-4、-7和-3、-7和-2、-7和-1、-7和0、-7和1、-7和2、-7和3、-7和4、-7和5、-7和6、-7和7时, 所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为6、-6和-5, 6、-6和-4, 6、-6和-3, 5、-5和-2, 5、-5和-1, 5、-5和-1, 5、-5和-1, 4、-4和-1, 3、-3和-1, 3、-3和-1, 3、-3和-1, 2、-2和-2, 1、1和-3, 1、0和-3, 1、1和-3;

[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-6和-7、-6和-6、-6和-5、-6和-4、-6和-3、-6和-2、-6和-1、-6和0、-6和1、-6和2、-6和3、-6和4、-6和5、-6和6、-6和7时, 所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为6、-6和-1, 5、-6和-1, 5、-6和-2, 4、-5和-3, 4、-5和-3, 4、-4和-3, 4、-4和-3, 4、-4和-3, 3、-3和-3, 3、-3和-3, 3、-3和-3, 2、-2和-3, 1、-1和-4, 1、0和-1, 1、1和0;

[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-5和-7、-5和-6、-5和-5、-5和-4、-5和-3、-5和-2、-5和-1、-5和0、-5和1、-5和2、-5和3、-5和4、-5和5、-5和6、-5和7时, 所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为6、-6和3, 5、-6和0, 5、-6和-3, 4、-5和-4, 3、-5和-6, 3、-4和-6, 3、-3和-6, 3、-3和-6, 3、-3和-6, 3、-3和-6, 2、-2和-5, 1、-1和-5, 1、0和-1, 1、1和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-7、-4和-6、-4和-5、-4和-4、-4和-3、-4和-2、-4和-1、-4和0、-4和1、-4和2、-4和3、-4和4、-4和5、-4和6、-4和7时, 所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为5、-6和1, 5、-5和0, 5、-5和-3, 4、-4和-4, 4、-4和-5, 4、-3和-5, 3、-2和-5, 2、-1和-4, 2、-1和-4, 1、-1和-4, 1、-1和-4, 0、0和-4, -1、1和-4, 1、-1和-1, -1、2和1;

[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-7、-3和-6、-3和-5、-3和-4、-3和-3、-3和-2、-3和-1、-3和0、-3和1、-3和2、-3和3、-3和4、-3和5、-3和6、-3和7时, 所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为5、-6和-1, 5、-5和-2, 5、-5和-3, 5、-4和-4, 5、-3和-5, 4、-2和-5, 3、-1和-5, 2、3和-4, 1、1和-3, 0、1和-3, -1、1和-3, -2、2和-3, -3、3和-3, -3、3和-2, -3、3和-1;

[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-2和-7、-2和-6、-2和-5、-2和-4、-2和-3、-2和-2、-2和-1、-2和0、-2和1、-2和2、-2和3、-2和4、-2和5、-2和6、-2和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为5、-5和-1,4、-4和-2,4、-4和-2,4、-3和-3,4、-2和-4,3、-1和-4,2、0和-4,1、3和-4,0、1和-4,0、1和-4,0、1和-3,-2、2和-2,-3、3和-2,-3、3和-2,-3、3和-1;

[0158] 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-7、-1和-6、-1和-5、-1和-4、-1和-3、-1和-2、-1和-1、-1和0、-1和1、-1和2、-1和3、-1和4、-1和5、-1和6、-1和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为5、-5和-1,4、-4和-1,3、-3和-1,3、-2和-2,3、-1和-3,2、0和-3,1、0和-3,0、1和-4,-1、1和-5,-1、1和-4,-1、1和-3,-2、2和-2,-3、3和-1,-3、3和-1,-3、3和-1;

[0159] 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-7、0和-6、0和-5、0和-4、0和-3、0和-2、0和-1、0和0、0和1、0和2、0和3、0和4、0和5、0和6、0和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为3、-5和-3,3、-4和-3,2、-3和-2,2、-2和-2,2、-1和-2,1、0和-2,0、1和-2,3、1和-2,-1、1和-2,-2、2和-1,-2、2和0,-3、3和1,-4、4和2,-4、4和3,-4、4和2;

[0160] 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-7、1和-6、1和-5、1和-4、1和-3、1和-2、1和-1、1和0、1和1、1和2、1和3、1和4、1和5、1和6、1和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为1、-5和-5,1、-4和-4,1、-3和-3,1、-2和-2,1、-1和-1,0、0和-1,-1、1和-1,-1、1和3,-1、1和1,-2、2和2,-3、3和3,-4、4和4,-5、5和5,-5、5和5,-5、6和6;

[0161] 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-7、2和-6、2和-5、2和-4、2和-3、2和-2、2和-1、2和0、2和1、2和2、2和3、2和4、2和5、2和6、2和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为2、-5和-3,2、-4和-3,2、-3和-2,2、-2和-2,1、-1和-1,0、0和-1,0、0和-1,3、3和3,-1、1和1,-2、2和2,-3、3和2,-4、4和3,-5、5和3,-5、5和3,-5、6和2;

[0162] 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-7、3和-6、3和-5、3和-4、3和-3、3和-2、3和-1、3和0、3和1、3和2、3和3、3和4、3和5、3和6、3和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为3、-5和-1,3、-4和-1,3、-3和-1,2、-2和-1,1、-1和-1,1、-1和-1,1、-1和-1,3、3和3,-1、1和1,-2、2和1,-3、3和1,-4、4和1,-5、5和1,-5、5和1,-5、6和1;

[0163] 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-7、4和-6、4和-5、4和-4、4和-3、4和-2、4和-1、4和0、4和1、4和2、4和3、4和4、4和5、4和6、4和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{ii} 和 ΔK_{di} 反模糊化的结果分别为3、-2和1,2、-2和0,2、-1和-2,1、-1和0,0、-1和1,-1、-1和1,-1、-1和1,-1、1和1,-2、2和2,-3、3和2,-4、4和2,-4、4和2,-5、5和2,-5、5和3,-5、6和3;

[0164] 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-7、5和-6、5和-5、5和-4、5和-3、5和-2、5和-1、5和0、5和1、5和2、5和3、5和4、5和5、5和6、5和7时,

所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{i_i} 和 ΔK_{d_i} 反模糊化的结果分别为3、1和6,2、1和0,1、1和-3,3、0和0,-1、-1和3,-2、1和3,-3、-1和3,-3、1和3,-3、3和3,-4、4和3,-5、5和3,-5、5和3,-5、6和3,-5、6和4,-6、6和6;

[0165] 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-7、6和-6、6和-5、6和-4、6和-3、6和-2、6和-1、6和0、6和1、6和2、6和3、6和4、6和5、6和6、6和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{i_i} 和 ΔK_{d_i} 反模糊化的结果分别为1、0和6,1、0和1,1、1和1,0、1和1,0、1和4,-2、1和4,-4、1和4,-4、2和4,-4、4和3,-4、4和3,-5、5和3,-5、5和3,-5、6和3,-5、6和4,-6、6和6;

[0166] 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7和-7、7和-6、7和-5、7和-4、7和-3、7和-2、7和-1、7和0、7和1、7和2、7和3、7和4、7和5、7和6、7和7时,所述模糊控制部分的输出 ΔK_{pi} 、 ΔK_{i_i} 和 ΔK_{d_i} 反模糊化的结果分别为-1、-1和6,0、0和5,1、1和5,1、2和5,1、3和5,-2、3和5,-5、3和5,-5、4和4,-5、5和3,-5、5和3,-5、5和3,-5、5和3,-6、6和3,-6、6和4,-6、6和6。

[0167] 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:

[0168] 表2模糊控制查询表

[0169]

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

[0170]

5	1	1	1	0	-3	-4	-2	-2	-1	-3	-3	2	1	1	-5
	0	-1	-0	1	3	-4	3	4	3	3	3	-2	-1	0	5
	0	-0	0	0	-1	-1	1	1	0	1	0	-2	-3	-3	3
6	0	1	1	-1	-3	4	-2	-3	-2	-3	-3	2	1	1	-5
	-1	-1	-1	2	3	-4	4	4	4	3	3	-2	-1	0	5
	0	-0	3	1	-1	-1	1	1	0	1	0	-2	-3	-3	4
7	0	1	1	-1	-3	-3	-3	-3	-3	-4	-4	-4	-5	-5	-5
	-1	1	-1	2	3	4	5	5	5	4	4	4	5	5	5
	5	0	3	1	-1	2	1	1	0	2	3	3	3	3	5

[0171] 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。

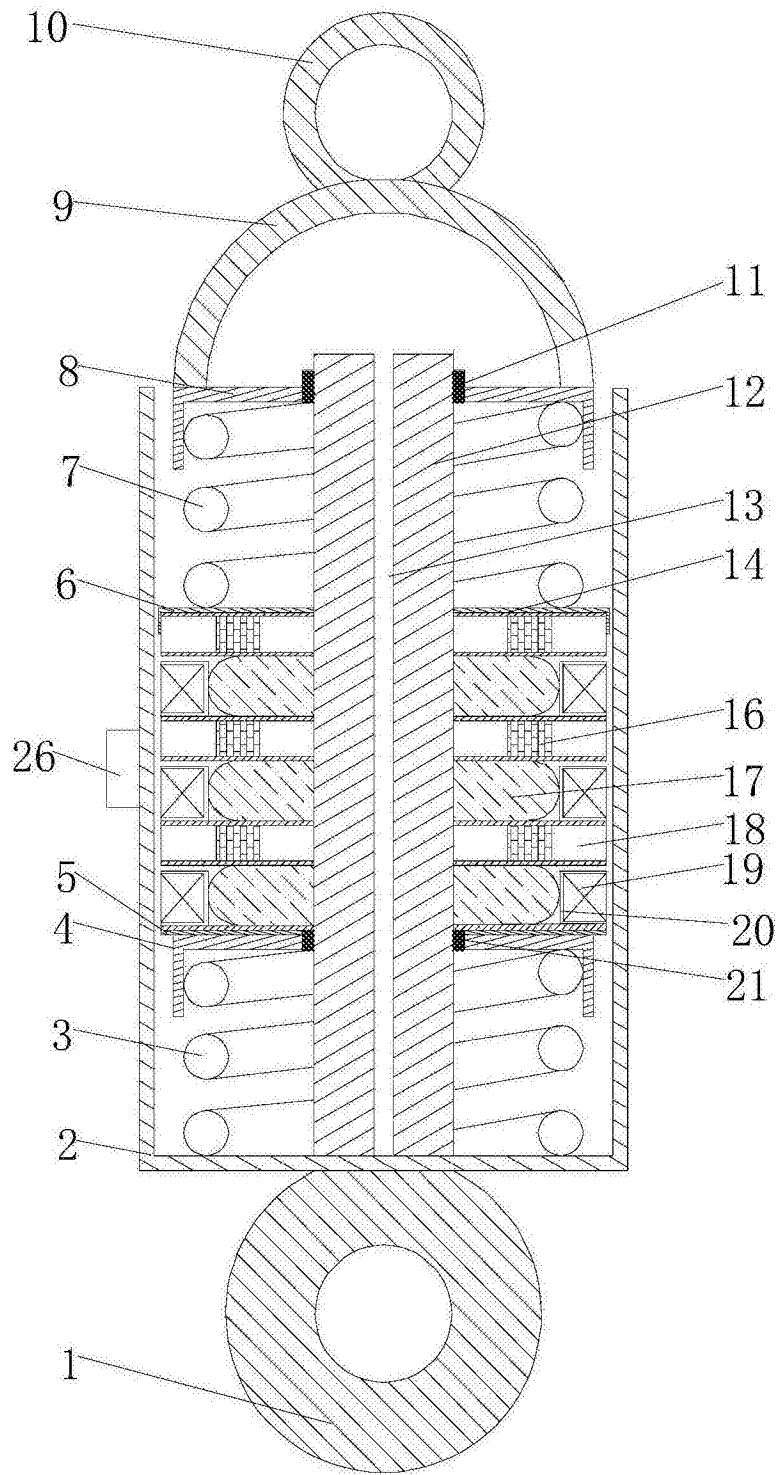


图1

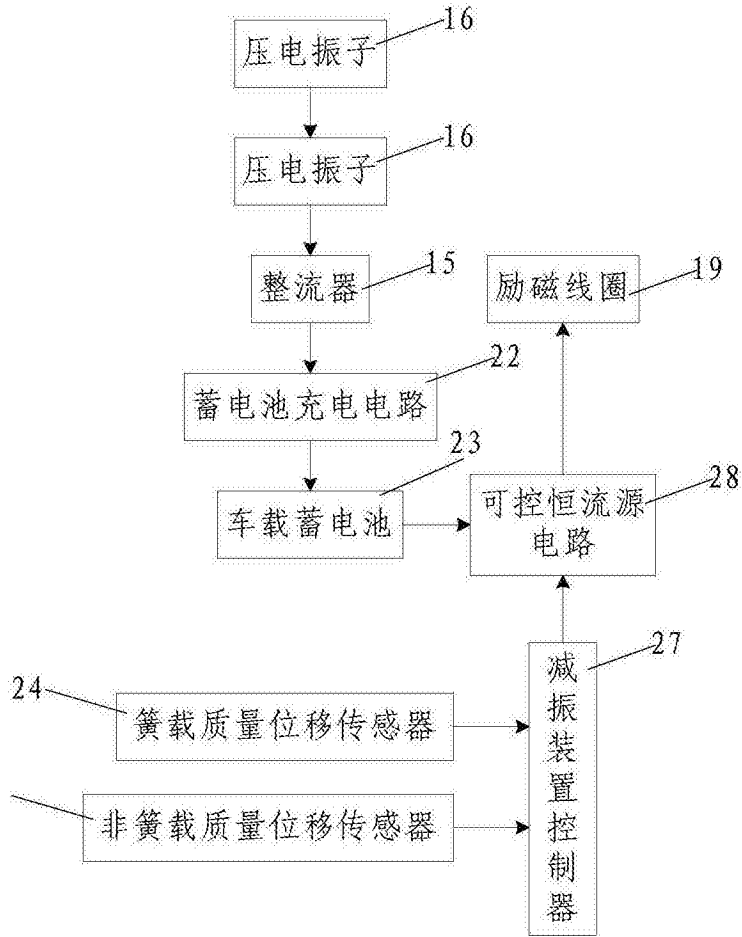


图2

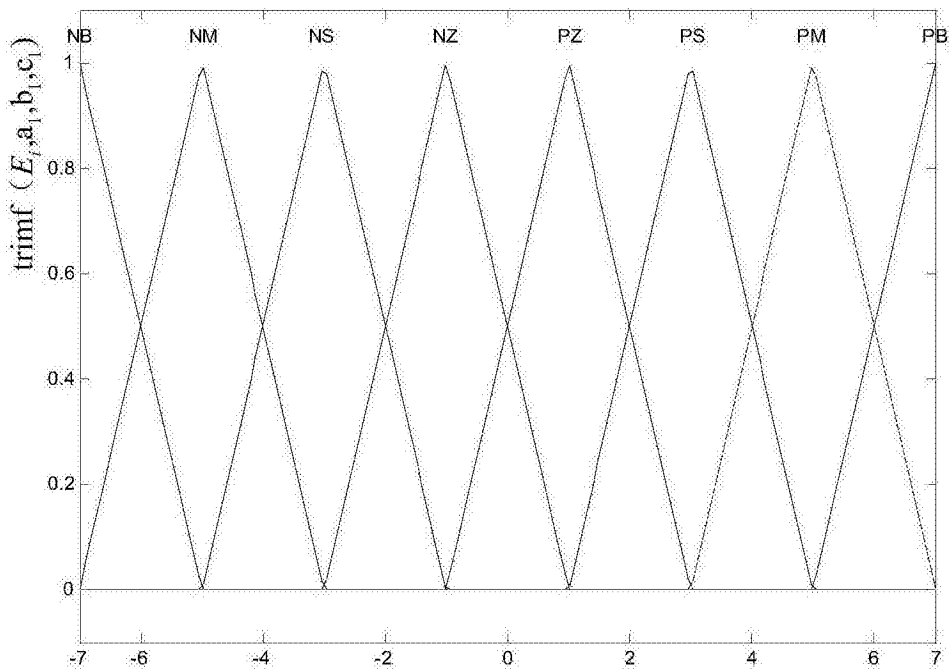


图3

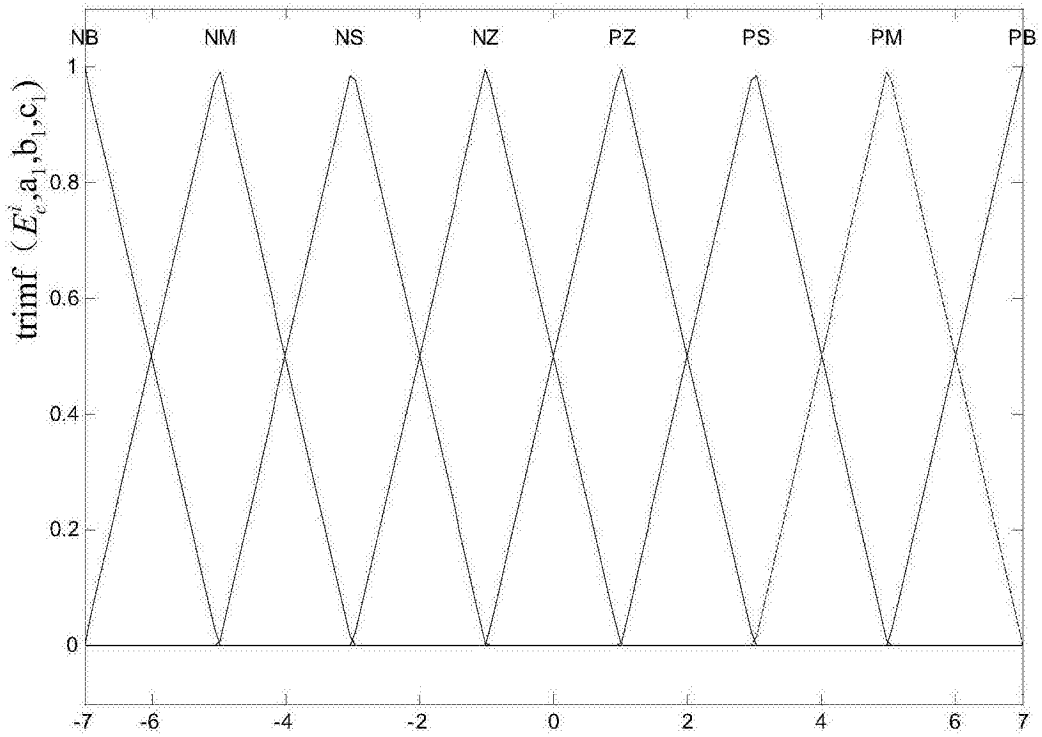


图4

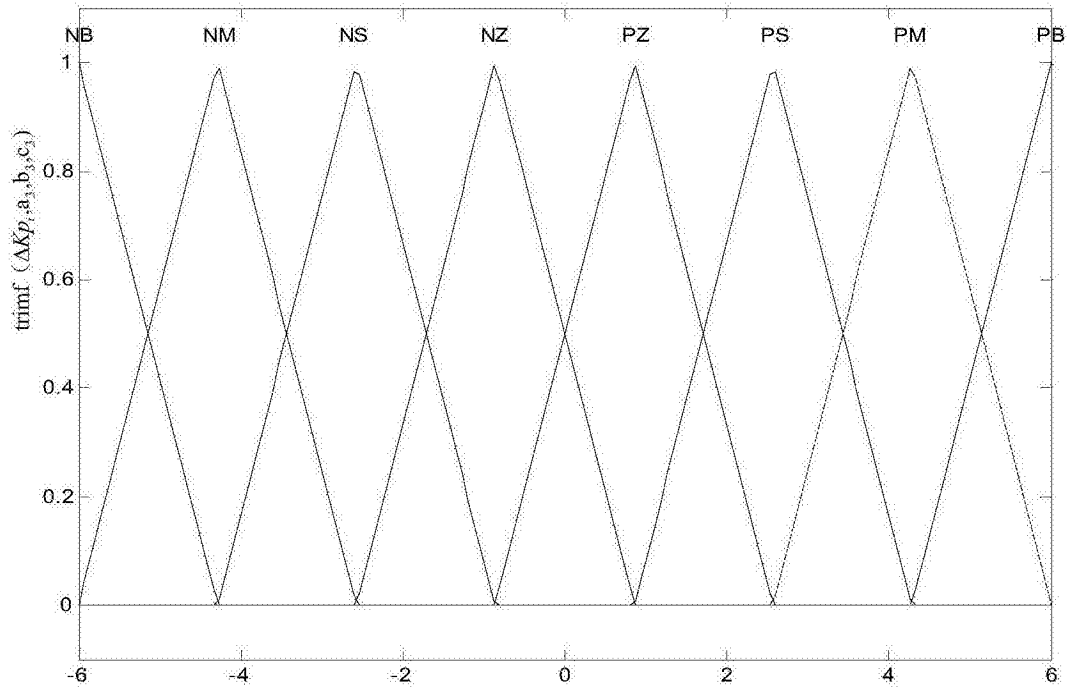


图5

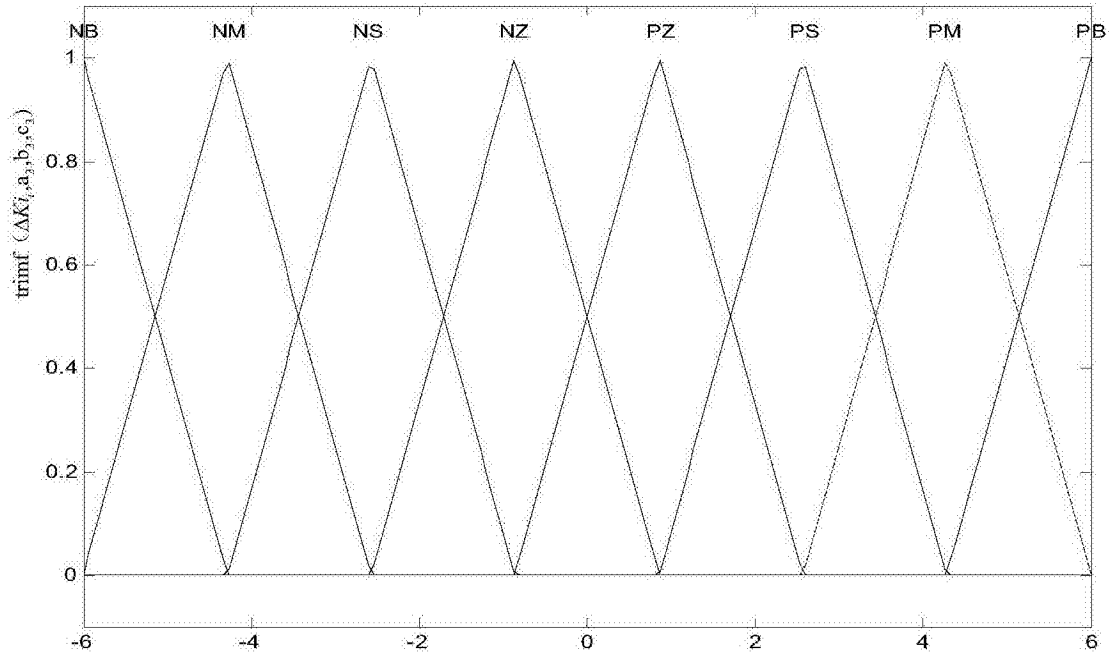


图6

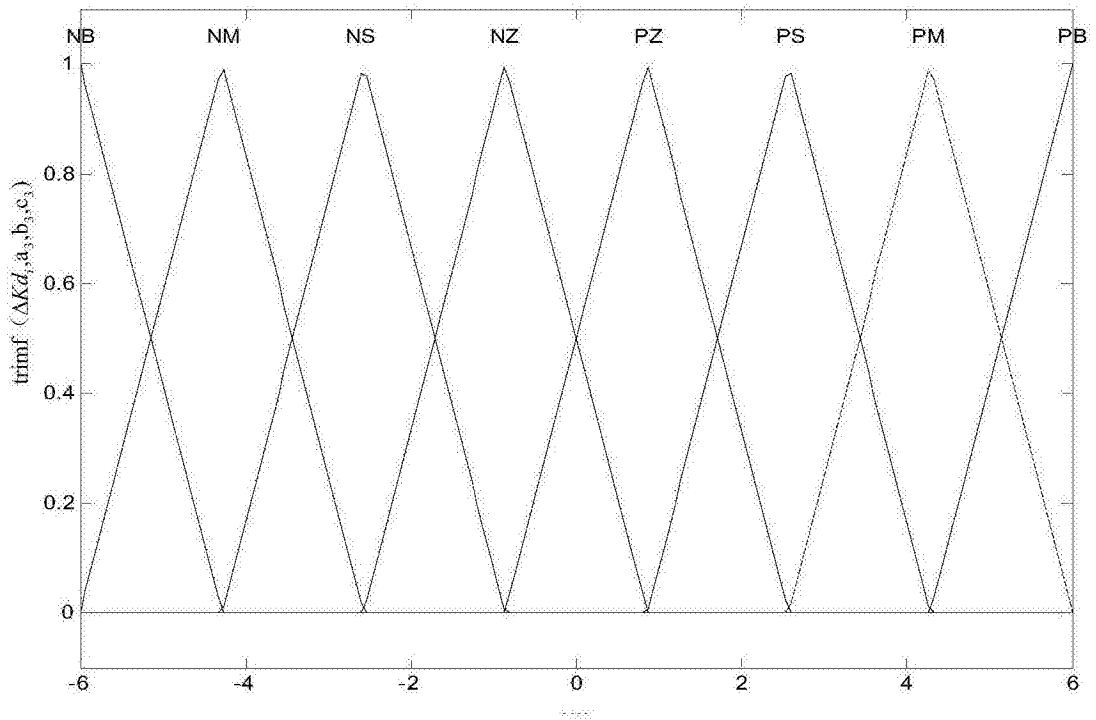


图7