



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103303088 A

(43) 申请公布日 2013. 09. 18

(21) 申请号 201310222855. 4

(22) 申请日 2013. 06. 06

(71) 申请人 江苏大学

地址 212013 江苏省镇江市学府路 301 号

(72) 发明人 汪若尘 唐诗晨 施德华 孟祥鹏

陈龙

(74) 专利代理机构 南京知识律师事务所 32207

代理人 汪旭东

(51) Int. Cl.

B60G 17/016(2006. 01)

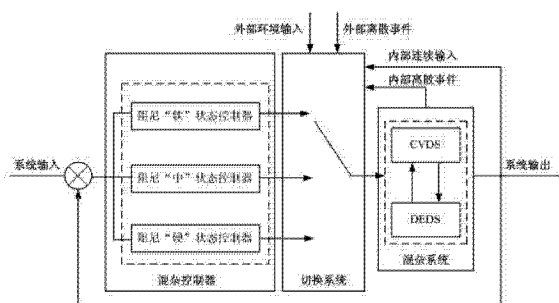
权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种半主动馈能悬架三档可调减振器阻尼值的控制方法

(57) 摘要

本发明公开了一种半主动馈能悬架三档可调减振器阻尼值的控制方法,包括如下步骤:根据半主动馈能悬架系统的阻尼控制要求,分析系统的混杂特性,确定系统的工作模式;根据系统的工况和性能要求确定系统不同工作模式下的阈值;通过对阈值比较,对系统的控制策略进行混杂切换。本发明一种半主动馈能悬架三档可调减振器阻尼值的控制方法充分考虑不同工况下对半主动馈能悬架的不同性能要求。该方法能够根据路面状况、车速以及载荷的实时变化,适时控制可调减振器最优阻尼值,有助于进一步加深对车辆运行工况的认识和分解,为提高半主动馈能悬架控制性能、智能水平提供又一新方向。



1. 一种半主动馈能悬架三档可调减振器阻尼值的控制方法,包括如下步骤:

(1) 根据半主动馈能悬架系统的阻尼控制要求,分析系统的混杂特性,确定系统的工作模式;

(2) 根据系统的工况和性能要求确定系统不同工作模式下的阈值;

(3) 通过对阈值比较,对系统的控制策略进行混杂切换。

2. 根据权利要求1所述的半主动馈能悬架三档可调减振器阻尼值的控制方法,其特征在于:所述系统的工作模式包括以下三种:

当车辆以较低的速度行驶在较差的路面上,进入减振器阻尼“软”模式 m_1 ;

当车辆以中等速度行驶在较好的路面上,进入减振器阻尼“中”模式 m_2 ;

当车辆以较高的速度行驶在很好的路面上,进入减振器阻尼“硬”模式 m_3 。

3. 根据权利要求1所述的半主动馈能悬架三档可调减振器阻尼值的控制方法,其特征在于:所述阈值的确定依据如下:

减振器阻尼“软”模式的阈值由较差路面的最低均方根值 f_{a0} 和持续时间 t_h 确定;

减振器阻尼“中”模式的阈值由最低速度 v_1 、较差路面的最低均方根值 f_{a0} 和持续时间 t_h 确定;

减振器阻尼“硬”模式的阈值由最低速度 v_1 和持续时间 t_h 确定。

4. 根据权利要求1所述的半主动馈能悬架三档可调减振器阻尼值的控制方法,其特征在于:所述步骤(3)的具体过程如下:

当悬架动行程 f_d 的均方根值 RMS 大于较差路面的最低均方根值 f_{a0} , 并且持续时间大于 t_h 时,车辆以较低的速度行驶在较差的路面上,进入减振器阻尼“软”模式 m_1 ,可调减振器节流口全开;

当车辆的行驶速度 v 低于最低速度 v_1 , 并且悬架动行程 f_d 的均方根值 RMS 小于较差路面的最低均方根值 f_{a0} , 并且持续时间大于 t_h 时,车辆以中等速度行驶在较好的路面上,进入减振器阻尼“中”模式 m_2 ,可调减振器节流口部分打开;

当车辆的行驶速度 v 达到最低速度 v_1 , 并且持续时间大于 t_h 时,车辆以较高的速度行驶在很好的路面上,进入减振器阻尼“硬”模式 m_3 ,可调减振器节流口全闭。

一种半主动馈能悬架三档可调减振器阻尼值的控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种减震器的阻尼控制方法,特别涉及一种基于混杂系统理论的半主动馈能悬架三档可调减振器阻尼值的控制方法。

背景技术

[0002] 近年来,国际油价跌宕起伏,能源与环境问题日益突出,节能减排、低碳经济已成为实现国家可持续发展的主要举措之一。混合动力汽车,在保持传统汽车特点的同时,具有优化车辆动态性能、有效提高燃油经济性、大大降低废气排放等优点,受到国内外汽车企业及相关领域专家学者的广泛关注和高度重视。对于混合动力车辆来说,因为其总功率消耗相对较低,而且对于效率的要求很严格,所以需要一种能够回收振动能量的悬架系统,可以直接利用悬架所回收的能量,从而减轻电池的质量、降低百公里燃油消耗量。其中,半主动馈能悬架能够进一步提高燃油经济性,减少能源消耗。

[0003] 混杂系统 (Hybrid System, HS) 是一类包含了连续与离散事件特性的动态系统,是近十年以来工业界与学术界研究应用的热点,并被公认为对生产过程自动化、自动化调度、机器人控制等一系列工程技术问题具有重要的指导意义。混杂系统理论的研究是传统控制理论进一步发展的要求,传统上为了研究的方便,系统的混杂特性总是被简化处理,而将系统转化为一个纯连续的或者纯离散的系统加以研究。在现代控制工程中,随着计算机技术在控制领域的应用,混杂系统越来越多,混杂系统的结构也越来越复杂,系统的连续部分和离散部分往往交互影响,不能简单的分开,必须作为一个整体进行研究。因此,对于具有混杂状态结构的复杂动力学系统,单纯依靠常规控制手段较难奏效,急需创立一套新的控制理论和控制方法。

[0004] 目前,针对半主动馈能悬架及其控制系统的研究大多是基于四分之一悬架模型进行设计和试验的,少数是基于整车模型的,而且考虑的工况也较为简单,大多数文献仅针对半主动馈能悬架的某一种工况进行研究,从而不能保证半主动馈能悬架在大范围工况下的良好表现,阻碍了半主动馈能悬架系统的推广应用。

[0005] 研究半主动馈能悬架混杂控制系统的结构、功能及其行为特征,既能充分刻画半主动馈能悬架的动态行为和运行特征,更能全面地揭示半主动馈能悬架复杂系统的本质;研究半主动馈能悬架混杂控制系统模型,不仅为半主动馈能悬架混杂控制系统的设计及实现提供前提,还为其他复杂动力学系统控制模型的建立和设计技术提供一种新的思路;研究半主动馈能悬架混杂控制系统的离散动态行为,既考虑了半主动馈能悬架控制过程中的连续动态行为,又强调和重视了离散动态行为对半主动馈能悬架运行和控制的影响;在半主动馈能悬架的控制过程中直面其在运行过程中的复杂动力学行为,充分考虑了不同工况下对半主动馈能悬架的不同性能要求,不仅符合车辆实际运行工况特征,更有助于进一步加深对车辆运行工况的认识和分解,为提高半主动馈能悬架控制性能、智能水平提供了又一新方向。

[0006] 迄今尚未见到相关半主动馈能悬架混杂特性分析及其混杂控制系统设计研究方

面的文献和报道。因此,研究半主动馈能悬架的混杂动态行为及混杂控制理论,为半主动馈能悬架动力学行为及控制提供一种新的控制方法,对促进我们半主动馈能悬架控制技术的发展具有重要的学术价值和应用前景。

发明内容

[0007] 针对现有技术中半主动馈能悬架混杂控制系统中存在的上述问题,即针对半主动馈能悬架无法在大范围工况下表现良好的缺陷,提供一种半主动馈能悬架三档可调减振器阻尼值的混杂控制方法,从而提高半主动馈能悬架控制性能、智能水平。

[0008] 本发明的技术方案是:

一种半主动馈能悬架三档可调减振器阻尼值的控制方法,包括如下步骤:

(1) 根据半主动馈能悬架系统的阻尼控制要求,分析系统的混杂特性,确定系统的工作模式;

(2) 根据系统的工况和性能要求确定系统不同工作模式下的阈值;

(3) 通过对阈值比较,对系统的控制策略进行混杂切换。

[0009] 进一步,所述系统的工作模式包括以下三种:

当车辆以较低的速度行驶在较差的路面上,进入减振器阻尼“软”模式 m_1 ;

当车辆以中等速度行驶在较好的路面上,进入减振器阻尼“中”模式 m_2 ;

当车辆以较高的速度行驶在很好的路面上,进入减振器阻尼“硬”模式 m_3 。

[0010] 进一步,所述阈值的确定依据如下:

减振器阻尼“软”模式的阈值由较差路面的最低均方根值 f_{a0} 和持续时间 t_h 确定;

减振器阻尼“中”模式的阈值由最低速度 v_1 、较差路面的最低均方根值 f_{a0} 和持续时间 t_h 确定;

减振器阻尼“硬”模式的阈值由最低速度 v_1 和持续时间 t_h 确定。

[0011] 进一步,所述步骤(3)的具体过程如下:

当悬架动行程 f_a 的均方根值 RMS 大于较差路面的最低均方根值 f_{a0} ,并且持续时间大于 t_h 时,车辆以较低的速度行驶在较差的路面上,进入减振器阻尼“软”模式 m_1 ,可调减振器节流口全开;

当车辆的行驶速度 v 低于最低速度 v_1 ,而且悬架动行程 f_a 的均方根值 RMS 小于较差路面的最低均方根值 f_{a0} ,并且持续时间大于 t_h 时,车辆以中等速度行驶在较好的路面上,进入减振器阻尼“中”模式 m_2 ,可调减振器节流口部分打开;

当车辆的行驶速度 v 达到最低速度 v_1 ,并且持续时间大于 t_h 时,车辆以较高的速度行驶在很好的路面上,进入减振器阻尼“硬”模式 m_3 ,可调减振器节流口全闭。

[0012] 本发明的有益效果是:

1、本控制方法容易实现,控制系统稳定性高:基于切换系统建立最优运行状态下的阻尼调节控制系统,将整个运行过程中的复杂问题分解成为单一工况下控制问题的合成,从而实现复杂系统的建模和控制。

[0013] 2、车辆系统性能提高明显:通过分析可知,半主动馈能悬架的控制具有明显的混杂特性,在混杂理论的框架下实现半主动馈能悬架的控制,能够良好地适应大范围内的车速和路况变化,还能够自适应调节悬架的阻尼,从而输出最佳的悬架性能。

[0014] 3、确定不同档位阻尼的过程中,同时考虑车速、路面、持续时间等因素,使确定的阻尼可以满足车辆不同的运行工况。

附图说明

[0015] 图1是本发明中半主动馈能悬架混杂控制系统框图;

图2是本发明中半主动馈能悬架混杂控制系统模型图;

图3是切换系统 Stateflow 模型图;

图4是车辆 1/4 悬架模型图。

具体实施方式

[0016] 下面结合附图对本发明作进一步详细说明。

[0017] 本发明一种半主动馈能悬架三档可调减振器阻尼值的控制方法是一种基于混杂系统理论的半主动馈能悬架三档可调减振器阻尼值的控制方法,包括如下步骤:

(1) 根据半主动馈能悬架系统的阻尼控制要求,分析系统的混杂特性,确定系统的工作模式;

(2) 根据系统的工况和性能要求确定系统不同工作模式下的阈值;

(3) 通过对阈值比较,对系统的控制策略进行混杂切换,提高半主动悬架的性能。

[0018] 其中,系统的工作模式有以下三种:

当车辆以较低的速度行驶在较差的路面上,为了提高车辆的行驶平顺性,避免承受过大的冲击载荷,进入减振器阻尼“软”模式 m_1 ;

当车辆以中等速度行驶在较好的路面上,为了提高这种工况下的悬架综合性能,进入减振器阻尼“中”模式 m_2 ;

当车辆以较高的速度行驶在很好的路面上,为了保证操纵稳定性和乘坐舒适性,迅速减振,进入减振器阻尼“硬”模式 m_3 。

[0019] 其中,系统阈值的确定依据如下:

减振器阻尼“软”模式的阈值由较差路面的最低均方根值 f_{20} 和持续时间 t_h 确定;

减振器阻尼“中”模式的阈值由最低速度 v_1 ,较差路面的最低均方根值 f_{20} 和持续时间 t_h 确定;

减振器阻尼“硬”模式的阈值由最低速度 v_1 和持续时间 t_h 确定。

[0020] 其中,步骤(3)为在确定系统的阈值以后,通过对系统三种工作模式下的阈值进行

比较,实现对系统的控制策略进行混杂切换,具体实施方法如下:

当悬架动行程 f_d 的均方根值(RMS)大于较差路面的最低均方根值 f_{d0} ,并且持续时间大于 t_h ,那么系统判定此时车辆将以较低的速度行驶在较差的路面上,为了提高车辆的行驶平顺性,避免承受过大的冲击载荷,使阻尼力保持在一定的限度之内,进入减振器阻尼“软”模式 m_1 ,可调减振器节流口全开;

当车辆的行驶速度 v 低于最低速度 v_1 ,而且悬架动行程 f_d 的均方根值(RMS)小于较差路面的最低均方根值 f_{d0} ,并且持续时间大于 t_h ,那么系统判定此时车辆将以中等速度行驶在较好的路面上,为了提高这种工况下的悬架综合性能,进入减振器阻尼“中”模式 m_2 ,可调减振器节流口部分打开;

当车辆的行驶速度 v 达到最低速度 v_1 ,并且持续时间大于 t_h ,那么系统判定此时车辆将以较高的速度行驶在很好的路面上,为了保证操纵稳定性和乘坐舒适性,迅速减振,进入减振器阻尼“硬”模式 m_3 ,可调减振器节流口全闭。

[0021] 设定 c_1, c_2, c_3 为 3 种切换规则的标识。当 $RMS(f_d \geq f_{d0}), t \geq t_h$ 即符合 c_1 切换规则时,进入减振器阻尼“软”模式 m_1 ; 当 $v < v_1, RMS(f_d < f_{d0}), t \geq t_h$ 即符合 c_2 切换规则时,进入减振器阻尼“中”模式 m_2 ; 当 $v \geq v_1, t \geq t_h$ 即符合 c_3 切换规则时,进入减振器阻尼“硬”模式 m_3 。

[0022] 为了构造一个能够满足半主动馈能悬架动态行为演变控制系统,设计了如图 1 所示的多模式切换控制的半主动馈能悬架混杂控制系统。

[0023] 混杂系统是该控制结构的被控对象,它与切换系统以及混杂控制器构成半主动馈能悬架混杂控制系统。混杂控制器为半主动馈能悬架混杂控制器。这里的建模主要是指通过 Stateflow 进行切换系统的建模,只有设计合理的切换系统,才能使半主动馈能悬架系统能够准确识别车辆所处的不同工况,从而输出最佳的悬架性能。

[0024] 切换系统是指系统会对预先定义的条件进行真伪判断,然后确定系统状态是否从一种状态切换到另一种状态。

[0025] 根据所确定的模式切换控制策略和运行状态切换关系,利用 Simulink/Stateflow 建立半主动馈能悬架混杂控制系统模型,如图 2 所示。切换系统 Stateflow 模型如图 3 所示,模型有三个输入变量和两个输出变量,控制变量设置如下表所示。

变量名称	Scope 属性	Port	数据类型
车速输入 u	Input	1	boolean
悬架动行程输入 fd	Input	2	boolean
持续时间 t	Input	3	boolean
控制输出 control	Output	1	double
控制输出 control1	Output	2	double

[0026] 输入变量的数据类型是 boolean,它们是由实际变量和参考变量经过关系运算器运算得到的布尔型输入,例如当实际车速 v 大于参考车速 v_1 ,那么车速输入 u 将为 0,否则将为 1。输出变量是两个控制输出,它们的值将确定系统将选择哪种控制器。

[0027] 半主动馈能悬架混杂控制系统主要切换参数的确定:

1、临界车速 v_{1c} 的确定：

根据悬架系统要求减振器阻尼状态的一般规则：

低速(40 公里 / 小时以下) 选择舒适(软) 得到好的平顺性；

中速(40-100 公里 / 小时) 选择正常(中) 兼顾平顺性与操纵稳定性；

高速(100 公里 / 小时以上) 选择运动(硬) 改善操纵稳定性。

[0028] 因此, 临界车速 $v_{1c} = 100$ km/h。

[0029] 2、临界路面的确定：

路面的好坏是减振器阻尼切换的另一个重要依据, 路面的好坏直接影响车辆的许多动态性能, 因此, 如何判断路面的好坏一直是汽车工程界的一个研究热点。路面好坏的判断最直接的依据就是路面的等级, 下表是常见较差路面的不平度参考等级, 表中 σ_q 表示路面不平度均方根值的几何平均值, $G_q(n_0)$ 表示路面不平度系数的几何平均值。

路面类型		$\sigma_q / 10^{-3} m$	$G_q(n_0) / 10^{-6} m^2$	参考等级
硬路面 公路	沥青、水泥	17	424~680	C、D
	卵石	42	2438~3259	E
	砾石	57	4219~5959	E
乡间 土路	路面压实的	47	1823~2664	D、E
	中等破损的	78	6101~8859	E、F
	破坏的	123	12305~18615	F

[0030] 根据该表可以发现, 车辆行驶的路面大多数都在 D 级以上, 我国高等级公路的路面谱基本上也都在 A、B、C 三级范围之内, 因此, 对于车辆需要避免过大冲击载荷的路面, 可以认为其等级在 E 级及 E 级以下。路面的等级表征了路面的不平度, 而路面不平度对车辆最直接的影响之一就是悬架动行程, 路面越差悬架的动行程就越大, 基于此, 提出以悬架动行程作为路面好坏的判断依据。

[0031] 由于悬架动行程只是车辆垂向运动的一个间接评价标准, 所以无需考虑车辆俯仰和侧倾运动, 因此, 只需建立车辆 1/4 悬架模型, 便可探究悬架动行程与路面好坏的直接关系, 如图 4 所示。

[0032] 根据牛顿力学, 得到其动力学方程如下：

$$m_s \ddot{z}_s = k(z_u - z_s) + c(\dot{z}_u - \dot{z}_s)$$

$$m_u \ddot{z}_u = k(z_s - z_u) + c(\dot{z}_s - \dot{z}_u) + k_t(q - z_u)$$

在 Matlab/Simulink 中建立仿真模型, 以某高级轿车为例, 相关参数: $m_s = 450$ kg, $m_u = 50$ kg, $k = 15$ kN/m, $c = 1.5$ kN · s/m, $k_t = 192$ kN/m。

[0033] 仿真时, 路面输入选用 E 级路面, 车速分别为 10m/s 和 15m/s, 仿真得到的悬架动行程。

[0034] 根据仿真结果, 确定表征临界路面的悬架动行程均方根值为 0.035, 即为当悬架动

行程均方根值大于 0.035 时,系统判定此时车辆行驶在较差的路面上,减振器阻尼状态进入“软”模式。

[0035] 3、持续时间 $t_{\text{软}}$ 的确定:

为了防止在短时间内出现多次阻尼的切换,增加了持续时间这一判定条件,提高了阻尼整体调节的稳定性。 $t_{\text{软}}$ 定为 8-10 s。

[0036] 本发明一种半主动馈能悬架三档可调减振器阻尼值的控制方法充分考虑不同工况下对半主动馈能悬架的不同性能要求。该方法能够根据路面状况、车速以及载荷的实时变化,适时控制可调减振器最优阻尼值,有助于进一步加深对车辆运行工况的认识和分解,为提高半主动馈能悬架控制性能、智能水平提供又一新方向。

[0037] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明。凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

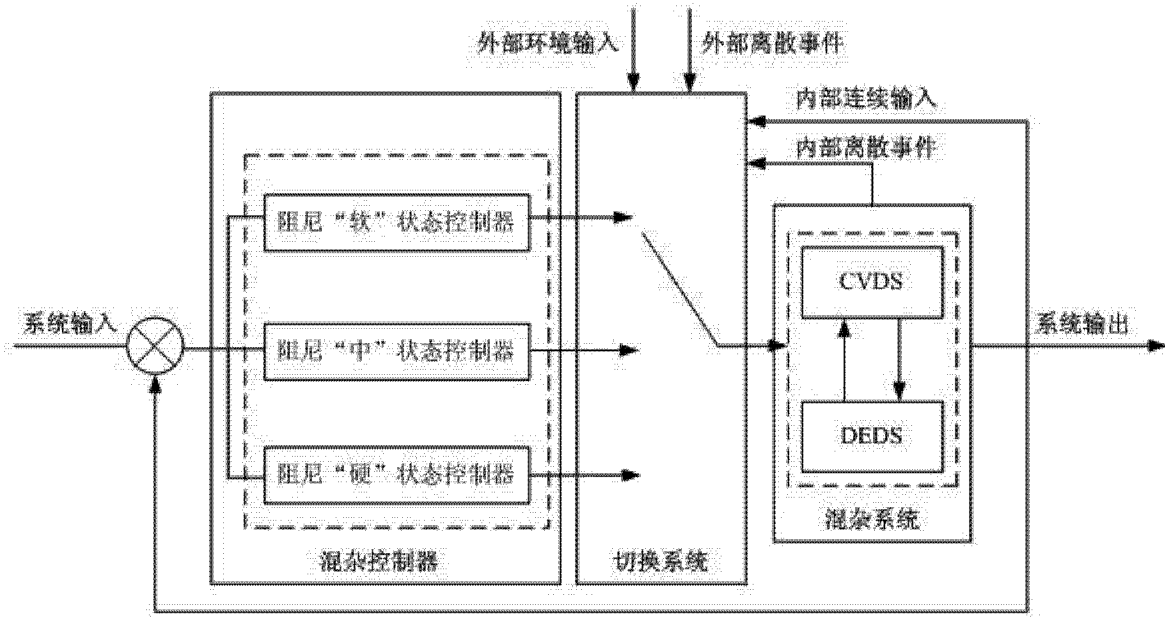


图 1

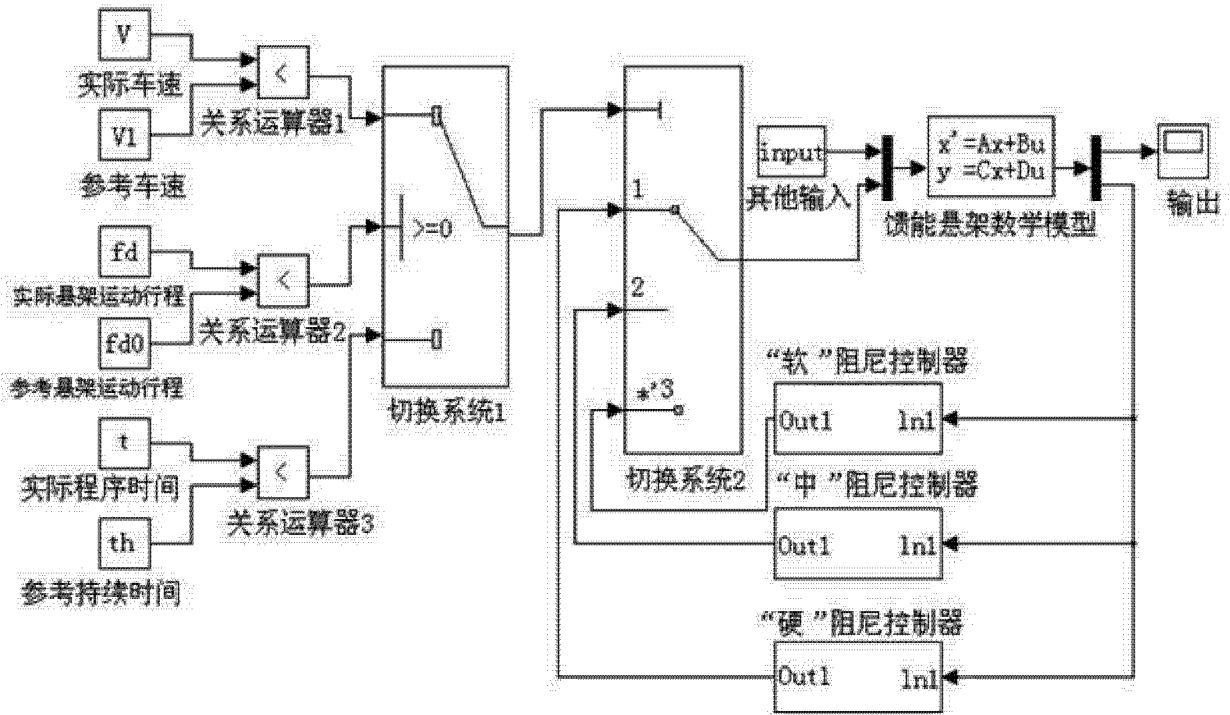


图 2

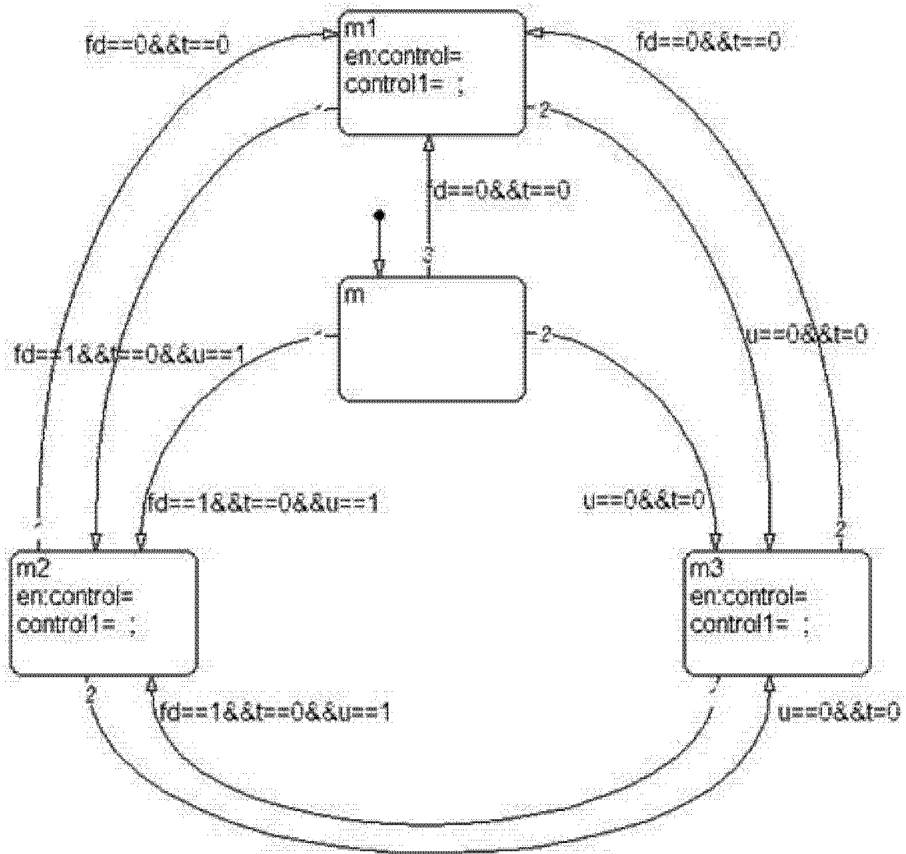


图 3

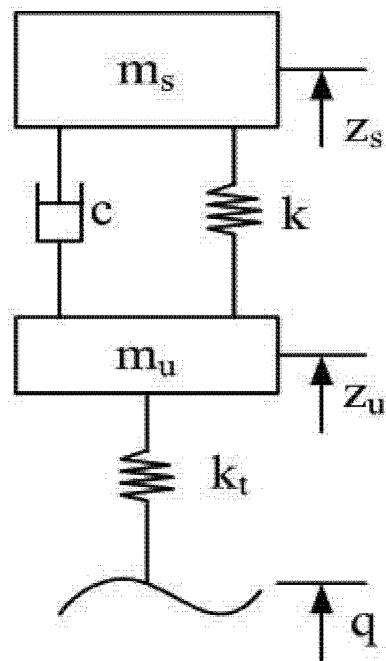


图 4