



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109398099 A
(43)申请公布日 2019.03.01

(21)申请号 201811037301.6

(22)申请日 2018.09.06

(71)申请人 同济大学

地址 200092 上海市杨浦区四平路1239号

(72)发明人 熊璐 史彪飞 韩伟 余卓平

(74)专利代理机构 上海科盛知识产权代理有限公司 31225

代理人 叶敏华

(51)Int.Cl.

B60L 7/26(2006.01)

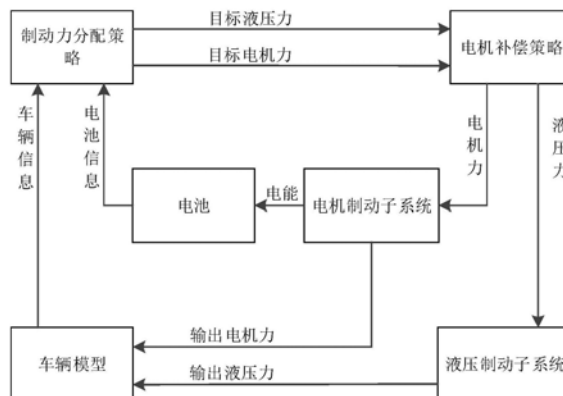
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54)发明名称

基于电机补偿的再生制动低速撤出工况冲击度控制方法

(57)摘要

本发明涉及一种基于电机补偿的再生制动低速撤出工况冲击度控制方法,该方法针对车辆复合制动系统中电机制动子系统与液压制动子系统的响应速度差异提出了电机补偿的策略,以电机制动力作为控制协调量,液压制动力作为干扰量,建立了电机补偿控制,并根据实际制动力与需求制动力保持一致的协调目的,求出控制框图中各模块的传递函数,再生制动低速撤出工况的舒适性评价指标采用制动冲击度即减速度的导数表示。与现有技术相比,本发明可大幅度减小再生制动低速撤出工况下的车辆制动冲击度。本发明提出的控制方法合理可行,具有典型性和通用性。



1. 基于电机补偿的再生制动低速撤出工况冲击度控制方法, 其特征在于, 该方法包括以下步骤:

- 1) 根据电机制动子系统和液压制动子系统的系统特性, 获取各子系统的传递函数;
- 2) 结合车辆的总需求制动力进行制动力分配, 获取目标液压制动力和目标电机制动力;
- 3) 对电机进行补偿控制, 获取补偿控制各个控制模块的传递函数;
- 4) 根据各个控制模块的传递函数获取制动电机子系统的输入信号;
- 5) 将电机制动子系统的输入作为控制协调量, 将液压制动子系统的输入作为干扰量, 采用补偿后的制动力对再生制动低速撤出工况进行控制。

2. 根据权利要求1所述的基于电机补偿的再生制动低速撤出工况冲击度控制方法, 其特征在于, 制动电机子系统的输入信号的表达式为:

$$F_m = G_1(s) \cdot F_b + G_2(s) \cdot F_h + G_3(s) \cdot E$$

式中, $G_1(s)$ 、 $G_2(s)$ 、 $G_3(s)$ 分别为补偿控制各个控制模块的传递函数, F_b 为总需求制动力, F_h 为液压制动子系统的输入信号, E 为实际制动力与需求制动力之间的误差。

3. 根据权利要求2所述的基于电机补偿的再生制动低速撤出工况冲击度控制方法, 其特征在于, $G_1(s)$ 为总需求制动力的前馈控制函数。

4. 根据权利要求2所述的基于电机补偿的再生制动低速撤出工况冲击度控制方法, 其特征在于, $G_2(s)$ 为目标液压制动力的前馈控制函数。

5. 根据权利要求2所述的基于电机补偿的再生制动低速撤出工况冲击度控制方法, 其特征在于, $G_3(s)$ 为PI控制的控制函数。

6. 根据权利要求3所述的基于电机补偿的再生制动低速撤出工况冲击度控制方法, 其特征在于, $G_1(s)$ 的函数表达式为:

$$G_1(s) = \frac{1}{G_m(s)}$$

式中, $G_m(s)$ 为电机制动子系统的传递函数。

7. 根据权利要求4或6所述的基于电机补偿的再生制动低速撤出工况冲击度控制方法, 其特征在于, $G_2(s)$ 的函数表达式为:

$$G_2(s) = -\frac{G_h(s)}{G_m(s)}$$

式中, $G_h(s)$ 为液压制动子系统的传递函数。

8. 根据权利要求6所述的基于电机补偿的再生制动低速撤出工况冲击度控制方法, 其特征在于, 实际制动力与需求制动力之间的误差的表达式为:

$$E = F_b - (F_{m_real} + F_{h_real}) = F_b - G_m(s) \cdot F_m - G_h(s) \cdot F_h$$

其中, F_{m_real} 和 F_{h_real} 分别为实际电机制动力和实际液压制动力。

基于电机补偿的再生制动低速撤出工况冲击度控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及汽车复合制动技术领域,尤其是涉及一种基于电机补偿的再生制动低速撤出工况冲击度控制方法。

背景技术

[0002] 根据有关研究,一辆常年在城市行驶的车辆大约有30%到50%的能量在制动过程中以热的形式耗散掉。如果能利用这部分能量,就能极大地改善车辆的能量经济性。而电驱车辆依靠其配备的复合制动系统可以大幅回收动能。

[0003] 复合制动系统一般包括电机制动力系统和液压制动力系统,电动汽车的制动需求由驱动电机的再生制动以及液压制动系统共同响应。电子液压制动系统(Electro-hydraulic Brake System,EHB)是一种新型的具有主动增压功能的线控制动系统,是汽车液压制动系统的发展趋势。

[0004] 车辆制动时,复合制动策略在保证制动安全的条件下优先采用电机制动力,当电机制动力不能满足制动需求时再施加液压制动力。然而,由于电机受到在高速下能够产生的再生制动转矩有限以及在低速下无法提供再生制转矩等限制,复合制动会出现以下几种典型过渡工况:

[0005] 1)随着目标制动强度从低强度制动转变为中等强度,在电机达到峰值转矩后,液压系统介入制动;

[0006] 2)随着目标制动强度从中等强度转变为低强度制动,液压制动系统撤出制动,电机独立响应制动需求;

[0007] 3)当制动需求保持不变时,随着车速不断降低,电机的发电效率以及发电电压都降低且伴随有电机发热问题,当电机转速降低至临界转速时,电机不再适合再生制动,为了保护电机,再生制动力撤出制动,但此时由于总的制动需求不变,液压力急剧增加。

[0008] 由于电机与液压制动系统的响应速度不同,电机的响应速度快,液压系统的响应速度较电机慢,导致复合制动在过渡工况下,会产生较大的制动冲击度(即制动减速度的导数),制动的平顺性与舒适性有所恶化。

[0009] 有关研究表明,相比于液压制动系统的介入和退出,电机再生制动力在低速时撤出的工况会给车辆带来更大的制动冲击,使制动平顺性急剧恶化,因此有必要重点关注电机力低速退出工况的协调。

[0010] 目前复合制动领域的研究主要还是提出再生制动的控制策略,对前后轴制动力进行合理分配,以期使能量回收最大化。并没有过多关注整个制动过程中车辆减速度、冲击度等状态,导致无法体现众多制动能量回收策略的实际效果。因此,对于再生制动低速撤出工况下的冲击度控制的研究有较高的实际应用需求和价值。

发明内容

[0011] 本发明的目的就是为了解决上述现有技术存在的缺陷而提供一种有效减小再生

制动低速撤出工况下的车辆制动冲击度的基于电机补偿的再生制动低速撤出工况冲击度控制方法。

[0012] 本发明的目的可以通过以下技术方案来实现：

[0013] 基于电机补偿的再生制动低速撤出工况冲击度控制方法，该方法包括以下步骤：

[0014] S1：根据电机制动子系统和液压制动子系统的系统特性，获取各子系统的传递函数；

[0015] S2：结合车辆的总需求制动力进行制动力分配，获取目标液压制动力和目标电机制动力；

[0016] S3：对电机进行补偿控制，获取补偿控制各个控制模块的传递函数；

[0017] S4：根据各个控制模块的传递函数获取制动电机子系统的输入信号；

[0018] S5：将电机制动子系统的输入作为控制协调量，将液压制动子系统的输入作为干扰量，采用补偿后的制动力对再生制动低速撤出工况进行控制。

[0019] 优选地，在步骤S4中，制动电机子系统的输入信号的表达式为：

$$[0020] \quad F_m = G_1(s) \cdot F_b + G_2(s) \cdot F_h + G_3(s) \cdot E$$

[0021] 式中， $G_1(s)$ 、 $G_2(s)$ 、 $G_3(s)$ 分别为补偿控制各个控制模块的传递函数， F_b 为总需求制动力， F_h 为液压制动子系统的输入信号， E 为实际制动力与需求制动力之间的误差。

[0022] 优选地， $G_1(s)$ 为总需求制动力的前馈控制函数，其函数表达式为：

$$[0023] \quad G_1(s) = \frac{1}{G_m(s)}$$

[0024] 式中， $G_m(s)$ 为电机制动子系统的传递函数。

[0025] 优选地， $G_2(s)$ 为目标液压制动力的前馈控制函数，其函数表达式为：

$$[0026] \quad G_2(s) = -\frac{G_h(s)}{G_m(s)}$$

[0027] 式中， $G_h(s)$ 为液压制动子系统的传递函数。

[0028] 优选地， $G_3(s)$ 为PI控制的控制函数。

[0029] 实际制动力与需求制动力之间的误差的表达式为：

$$[0030] \quad E = F_b - (F_{m_real} + F_{h_real}) = F_b - G_m(s) \cdot F_m - G_h(s) \cdot F_h$$

[0031] 其中， F_{m_real} 和 F_{h_real} 分别为实际电机制动力和实际液压制动力。

[0032] 与现有技术相比，本发明具有以下优点：

[0033] 一、本发明针对车辆复合制动系统中电机制动子系统与液压制动子系统的响应速度差异提出了电机补偿控制，以电机制动力作为控制协调量，以液压制动力作为干扰量，可大幅度减小再生制动低速撤出工况下的车辆制动冲击度；

[0034] 二、本发明控制方法合理可行，具有较强的典型性和通用性。

附图说明

[0035] 图1为基于电机补偿的再生制动低速撤出工况冲击度控制方法的流程示意图；

[0036] 图2为本发明实施例中电机补偿控制框图。

具体实施方式

[0037] 下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细说明。

[0038] 本发明涉及一种基于电机补偿的再生制动低速撤出工况冲击度控制方法,该方法基于复合制动系统,该系统包括电机制动子系统和液压制动子系统。如图1所示,本发明方法包括以下步骤:

[0039] 一、根据电机制动子系统和液压制动子系统的系统特性,获取各子系统的传递函数。令电机制动子系统的传递函数为 $G_m(s)$,液压制动子系统的传递函数为 $G_h(s)$,其中:

$$[0040] \quad G_m(s) = \frac{0.938 \cdot (1 + 0.239s)}{(1 + 0.149s)(1 + 0.11s)} \cdot e^{-0.03s}$$

$$[0041] \quad G_h(s) = \frac{44.748}{(1 + 0.0234s)} e^{-0.0574s}$$

[0042] 二、结合实际车辆的制动需求对制动力进行分配,设定目标液压力和目标电机力;

[0043] 三、根据目标液压力和目标电机力对电机进行补偿控制。具体内容为:

[0044] 补偿的作用为:使实际制动力与需求制动力保持一致,即:

$$[0045] \quad F_b = F_{m_real} + F_{h_real}$$

[0046] 式中, F_b 为需求制动力, F_{m_real} 和 F_{h_real} 分别为实际电机制动力和实际液压制动力。

[0047] 其中的误差可以表示为:

$$[0048] \quad E = F_b - (F_{m_real} + F_{h_real}) = F_b - G_m(s) \cdot F_m - G_h(s) \cdot F_h$$

[0049] 其中, F_m 和 F_h 分别为电机制动子系统和液压制动子系统的输入信号。

[0050] 四、因电机制动子系统和液压制动子系统的响应时间存在差异,电机制动子系统的响应速度快,则将电机制动子系统的输入信号作为控制协调量,对制动电机子系统进行控制协调,将液压制动子系统的输入信号作为干扰量,对液压制动子系统进行干扰。对电机进行补偿控制的内容如图2所示,则制动电机子系统的输入信号的表达式为:

$$[0051] \quad F_m = G_1(s) \cdot F_b + G_2(s) \cdot F_h + G_3(s) \cdot E$$

[0052] 式中, $G_1(s)$ 为总需求制动力的前馈控制函数, $G_2(s)$ 为目标液压制动力的前馈控制函数, $G_3(s)$ 为误差控制器的控制函数,可优选PI控制的控制函数。

[0053] 则误差可以表示为:

$$[0054] \quad E = F_b - G_m(s) \cdot [G_1(s) \cdot F_b + G_2(s) \cdot F_h + G_3(s) \cdot E] - G_h(s) \cdot F_h$$

$$[0055] \quad = \{ [1 - G_m(s) \cdot G_1(s)] F_b - [G_m(s) \cdot G_2(s) + G_h(s)] F_h \} / (1 + G_m(s) \cdot G_3(s))$$

[0056] 根据理想状态,即误差为0可以得到:

$$[0057] \quad G_1(s) = \frac{1}{G_m(s)}$$

$$[0058] \quad G_2(s) = -\frac{G_h(s)}{G_m(s)}$$

[0059] 再生制动低速撤出工况评价指标采用制动冲击度即减速度的导数表示。通过台架试验,与无控制策略(即目标液压力和目标电机力分别直接作用至液压制动子系统和制动电机子系统)相比,采用本发明方法后的再生制动低速撤出工况下的车辆冲击度由 60.94m/s^3 减小至 22.11m/s^3 ,减小了63.7%。因此,本发明方法可大幅度减小再生制动低速撤出工况

下的车辆制动冲击度。

[0060] 以上所述,仅为本发明的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的工作人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到各种等效的修改或替换,这些修改或替换都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此,本发明的保护范围应以权利要求的保护范围为准。

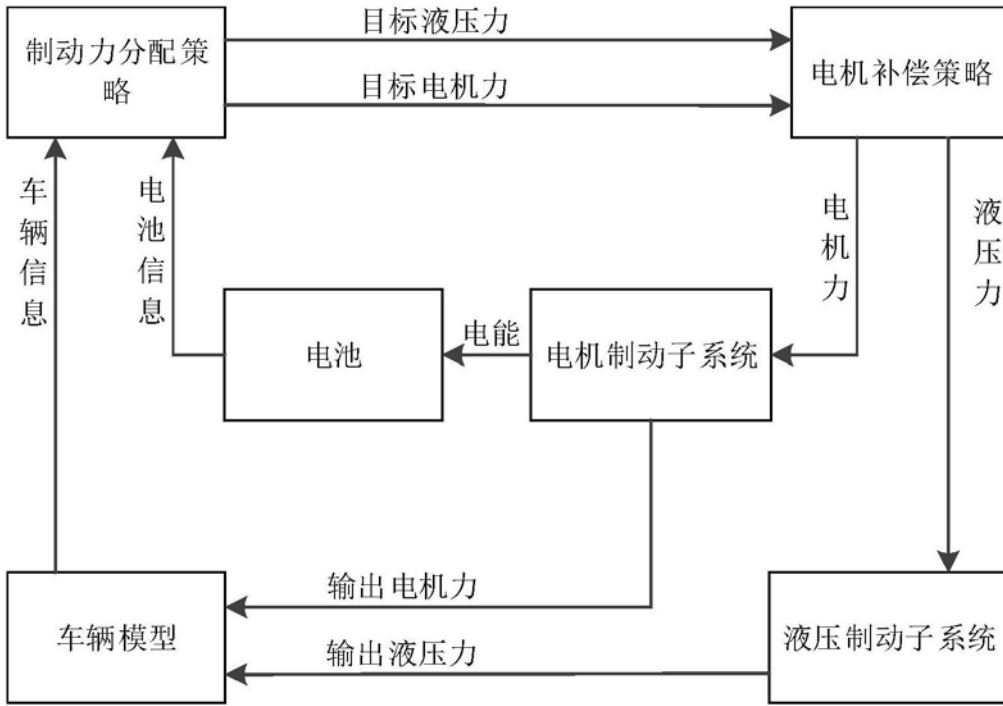


图1

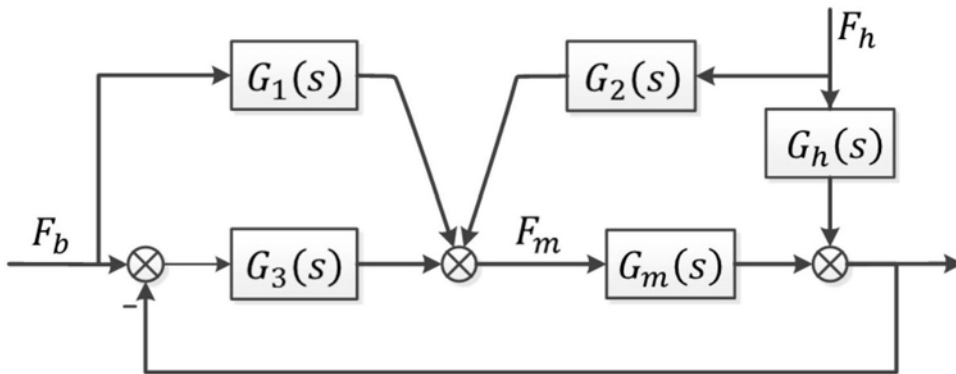


图2