



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 116142159 B

(45) 授权公告日 2025. 09. 23

(21) 申请号 202310395341.2

(56) 对比文件

(22) 申请日 2023.04.13

CN 103863278 A, 2014.06.18

CN 111746300 A, 2020.10.09

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 116142159 A

审查员 毕淑琴

(43) 申请公布日 2023.05.23

(73) 专利权人 香港理工大学

地址 中国香港九龙红磡香港理工大学

(72) 发明人 郑家伟 薛向党 樊玉龙

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限

公司 11227

专利代理师 许庆胜

(51) Int. Cl.

B60T 13/74 (2006.01)

B60T 1/06 (2006.01)

B60T 8/176 (2006.01)

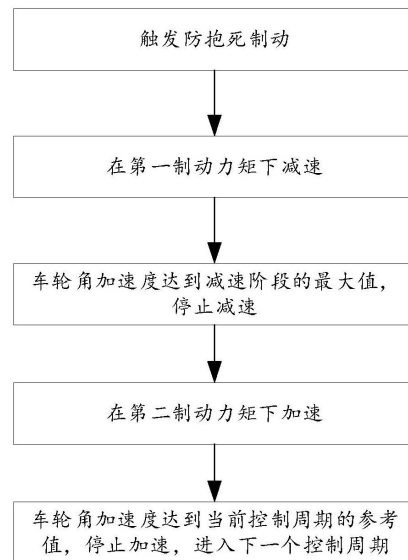
权利要求书3页 说明书10页 附图10页

(54) 发明名称

一种防抱死制动控制方法、系统及机电式制动装置

(57) 摘要

本申请公开了一种防抱死制动控制方法、系统及机电式制动装置,其中的防抱死制动控制方法只需要测量车轮角加速度,通过连续的控制周期使得车辆在制动时进行减速和加速的往复运转,防止车轮抱死,缩短制动距离;本发明公开的机电式制动装置,利用杠杆原理把在制动器上施加的制动力矩转换为对刹车片的作用力,由制动楔块实现刹车,力的传递由机械结构完成,不需要复杂的液压动力装置,相比常规的液电制动装置结构更简单,用于防抱死制动时没有踏板振动,制动力矩控制更准确,提高制动效率和稳定性。



1. 一种防抱死制动控制方法,其特征在于,通过连续的控制周期完成,每个控制周期包括减速阶段和加速阶段,该控制方法包括:

车辆触发防抱死制动进入减速阶段,车轮在第一制动力矩的作用下减速,所述第一制动力矩的计算包括:

根据前一控制周期的第一制动力矩及车轮角加速度参考值,建立相邻两个控制周期的第一制动力矩的关系如下

$$T_{bwd,k} = T_{bwd,k-1} + C_d(a_{wdef,k-1} - a_{wd,obj});$$

其中, $T_{bwd,k}$ 表示第 k 个控制周期的第一制动力矩, $T_{bwd,k-1}$ 表示第 $k-1$ 个控制周期的第一制动力矩, C_d 表示微分常数, $a_{wdef,k-1}$ 表示第 $k-1$ 个控制周期的车轮角加速度参考值, $a_{wd,obj}$ 表示车轮减速阶段下车轮角加速度的目标值;

当车轮角加速度达到当前控制周期在减速阶段的角加速度局部最大值时,附着力与附着系数的比值达到最大值,车轮停止减速,进入加速阶段;

车轮在第二制动力矩的作用下加速,当车轮角加速度达到当前控制周期的车轮角加速度参考值时,附着力与附着系数的比值达到定义值,车轮停止加速,进入下一个控制周期。

2. 根据权利要求1所述的防抱死制动控制方法,其特征在于,所述第二制动力矩的计算包括:

根据前一控制周期的第二制动力矩和当前控制周期在减速阶段的角加速度局部最大值计算当前控制周期的第二制动力矩。

3. 根据权利要求2所述的防抱死制动控制方法,其特征在于,所述第二制动力矩的计算包括:

根据前一控制周期的第二制动力矩和当前控制周期在减速阶段的角加速度局部最大值,建立相邻两个控制周期的第二制动力矩的关系如下

$$T_{bwa,k} = T_{bwa,k-1} + C_d(a_{wdx,k} - a_{wa,obj});$$

其中, $T_{bwa,k}$ 表示第 k 个控制周期的第二制动力矩, $T_{bwa,k-1}$ 表示第 $k-1$ 个控制周期的第二制动力矩, C_d 表示微分常数, $a_{wdx,k}$ 表示第 k 个控制周期在车轮减速阶段的角加速度局部最大值, $a_{wa,obj}$ 表示车轮加速阶段下车轮角加速度的目标值。

4. 根据权利要求1所述的防抱死制动控制方法,其特征在于,所述车轮角加速度参考值的计算有如下:

$$a_{wdef,k} = k_a a_{wax,k};$$

其中, $a_{wdef,k}$ 表示第 k 个控制周期的车轮角加速度参考值, k_a 表示在车轮加速阶段车轮角加速度的衰减系数, $a_{wax,k}$ 表示第 k 个控制周期在车轮加速阶段的角加速度局部最大值。

5. 根据权利要求1所述的防抱死制动控制方法,其特征在于,所述方法包括:

建立车轮角加速度与附着力的关系如下

$$F_{afw} = C_{afw}(a_w + C_{bw}T_{bw});$$

其中, $C_{afw} = J_w / r_w$, $C_{bw} = 1 / J_w$, F_{afw} 表示附着力, a_w 表示车轮角加速度, J_w 表示车轮的转动惯量, r_w 表示车轮半径, T_{bw} 表示制动力矩;

建立车轮角加速度与附着系数的关系如下

$$\mu_{af} = C_{uaf}(a_w + C_{bw}T_{bw});$$

其中, $C_{uaf} = J_w / (r_w F_w)$, 表示附着系数, F_w 表示作用在车轮上垂直方向的力。

6. 根据权利要求1所述的防抱死制动控制方法, 其特征在于, 所述车轮角加速度根据连续测量的车轮速度计算。

7. 一种防抱死制动控制系统, 其特征在于, 用于实现如权利要求1~6任一项所述的防抱死制动控制方法, 包括:

电控单元, 配置为存储有计算机程序, 所述程序被执行时, 实现如权利要求1~6任一项所述的防抱死制动控制方法, 输出与第一制动力矩或第二制动力矩对应的制动控制信号;

制动控制单元, 配置为接收所述电控单元的制动控制信号, 用于控制制动装置产生与制动控制信号对应的制动力矩。

8. 根据权利要求7所述的防抱死制动控制系统, 其特征在于, 所述系统还包括轮速传感器, 配置为与所述电控单元连接, 用于检测车轮速度并发送至所述电控单元以计算车轮角加速度。

9. 一种机电式制动装置, 其特征在于, 用于实现如权利要求1~6任一项所述的防抱死制动控制方法, 包括:

制动器, 通过第一固定件紧固在制动支架上, 与制动楔块通过杠杆结构连接, 所述制动器在制动力的作用下驱动所述杠杆结构相对于所述制动支架转动;

所述制动楔块的一侧与第一刹车片接触, 另一侧滑动连接制动钳, 所述制动钳通过第二固定件紧固在所述制动支架上, 所述制动钳与制动楔块之间设置有第二刹车片, 刹车盘设置于所述第一刹车片与第二刹车片之间;

作用于所述制动器上的制动力通过所述杠杆结构传导至所述制动楔块, 所述制动楔块在力的作用下挤压所述第一刹车片, 使得所述第一刹车片和所述第二刹车片相向运动接触所述刹车盘或反向运动远离所述刹车盘。

10. 根据权利要求9所述的机电式制动装置, 其特征在于, 所述杠杆结构包括第一端、第二端和第三端;

所述第一端和第二端分别利用第一连接件和第二连接件与所述制动器枢接, 所述第三端利用第三连接件与所述制动楔块枢接, 所述第一端和第三端随制动器的运动在所述第二连接件上枢转, 所述第三端的枢转驱动所述制动楔块相对于所述制动钳滑动。

11. 根据权利要求10所述的机电式制动装置, 其特征在于, 在所述杠杆结构中, 所述第一端与第二端的距离大于所述第二端与第三端的距离。

12. 根据权利要求10所述的机电式制动装置, 其特征在于, 所述制动器包括机架、定子和动子;

所述定子固定在所述机架上, 且环绕设置在所述动子外侧;

所述动子通过第一连接件与所述杠杆结构的第一端枢接,被施加制动力时所述动子在竖直方向上运动,驱动所述杠杆结构的第一端在所述第二连接件上枢转。

13.一种车辆,其特征在于,其上安装有如权利要求7~8任一项所述的防抱死制动控制系统,用于实现如权利要求1~6任一项所述的防抱死制动控制方法,所述车辆设置有至少一个如权利要求9~12任一项所述的机电式制动装置。

14.根据权利要求13所述的车辆,其特征在于,所述车辆具有多个车轮,每个车轮均设置有如权利要求9~12任一项所述的机电式制动装置。

一种防抱死制动控制方法、系统及机电式制动装置

技术领域

[0001] 本发明属于车辆制动技术,尤其涉及一种防抱死制动控制方法、系统及机电式制动装置。

背景技术

[0002] 防抱死制动系统(ABS)是目前汽车最常用的制动技术之一,用于防止车轮在制动过程中抱死,提供主动的安全保护,其理想目标是最大化轮胎与路面的附着力或附着系数,实现操纵稳定性、转向性和短制动距离。常用的制动控制方法除了要获取车辆的轮速,还需要测量车速或车辆加速度、轮胎最大滑移、车辆质量、制动力矩、车轮受力等参数,然而除了轮速可以直接在车辆上测量外,其余参数都很难准确测量。

[0003] 另外,目前绝大部分的ABS都是液电制动器,制动力矩主要来自制动液的压力,制动力矩的控制取决于阀门和泵,力矩的传输基于制动液和气缸,使得制动器结构复杂,力矩控制的动态性能和精度也受到限制。

发明内容

[0004] 基于此,本发明提出一种防抱死制动控制方法,系统及机电式制动装置,仅需要检测轮胎角速度来最大化实时的轮胎-路面附着力及附着系数,同时防止车轮抱死,缩小制动距离,以克服现有制动技术的不足。

[0005] 第一方面,本发明提供一种防抱死制动控制方法,通过连续的控制周期完成,每个控制周期包括减速阶段和加速阶段,该控制方法包括:

[0006] 车辆触发防抱死制动进入减速阶段,车轮在第一制动力矩的作用下减速;

[0007] 当车轮角加速度达到当前控制周期在减速阶段的角加速度局部最大值时,附着力/附着系数达到最大值,车轮停止减速,进入加速阶段;

[0008] 车轮在第二制动力矩的作用下加速,当车轮角加速度达到当前控制周期的车轮角加速度参考值时,附着力/附着系数达到定义值,车轮停止加速,进入下一个控制周期。

[0009] 进一步地,第一制动力矩的计算包括:

[0010] 根据前一控制周期的第一制动力矩及车轮角加速度参考值计算当前控制周期的第一制动力矩。

[0011] 进一步地,第二制动力矩的计算包括:

[0012] 根据前一控制周期的第二制动力矩和当前控制周期在减速阶段的角加速度局部最大值计算当前控制周期的第二制动力矩。

[0013] 进一步地,当前控制周期的第一制动力矩的计算包括:

[0014] 根据前一控制周期的第一制动力矩及车轮角加速度参考值,建立相邻两个控制周期的第一制动力矩的关系如下

$$[0015] \quad T_{\text{bwd},k} = T_{\text{bwd},k+1} + C_d (a_{\text{wdef},k+1} - a_{\text{wd,obj}})$$

[0016] 其中, $T_{\text{bwd},k}$ 表示第k个控制周期的第一制动力矩, $T_{\text{bwd},k-1}$ 表示第k-1个控制周期的

第一制动力矩, C_d 表示微分常数, $a_{wdef, k-1}$ 表示第 $k-1$ 个控制周期的车轮角加速度参考值, $a_{wd, obj}$ 表示车轮减速阶段下车轮角加速度的目标值。

[0017] 进一步地, 当前控制周期的第二制动力矩的计算包括:

[0018] 根据前一控制周期的第二制动力矩和当前控制周期在减速阶段的角加速度局部最大值, 建立相邻两个控制周期的第二制动力矩的关系如下

$$[0019] \quad T_{bwa, k} = T_{bwa, k-1} + C_d (a_{wdx, k} - a_{wa, obj})$$

[0020] 其中, $T_{bwa, k}$ 表示第 k 个控制周期的第二制动力矩, $T_{bwa, k-1}$ 表示第 $k-1$ 个控制周期的第二制动力矩, C_d 表示微分常数, $a_{wdx, k}$ 表示第 k 个控制周期在车轮减速阶段的角加速度局部最大值, $a_{wa, obj}$ 表示车轮加速阶段下车轮角加速度的目标值。

[0021] 进一步地, 车轮角加速度参考值的计算有如下:

$$[0022] \quad a_{wdef, k} = k_a a_{wax, k}$$

[0023] 其中, $a_{wdef, k}$ 表示第 k 个控制周期的车轮角加速度参考值, k_a 表示在车轮加速阶段车轮角加速度的衰减系数, $a_{wax, k}$ 表示第 k 个控制周期在车轮加速阶段的角加速度局部最大值。

[0024] 进一步地, 附着力和附着系数的计算包括:

[0025] 建立车轮角加速度与附着力的关系如下

$$[0026] \quad F_{afw} = C_{afw} (a_w + C_{bw} T_{bw})$$

[0027] 其中, $C_{afw} = J_w / r_w$, $C_{bw} = 1 / J_w$, F_{afw} 表示附着力, a_w 表示车轮角加速度, J_w 表示车轮的转动惯量, r_w 表示车轮半径, T_{bw} 表示制动力矩;

[0028] 建立车轮角加速度与附着系数的关系如下

$$[0029] \quad \mu_{af} = C_{uaf} (a_w + C_{bw} T_{bw})$$

[0030] 其中, $C_{uaf} = J_w / (r_w F_w)$, 表示附着系数, F_w 表示作用在车轮上垂直方向的力。

[0031] 进一步地, 车轮角加速度根据连续测量的车轮速度计算。

[0032] 第二方面, 本发明提供一种防抱死制动控制系统, 用于实现第一方面的制动控制方法, 包括:

[0033] 电控单元, 配置为存储有计算机程序, 该程序被执行时, 实现第一方面的防抱死制动控制方法输出与第一制动力矩或第二制动力矩对应的制动控制信号;

[0034] 制动控制单元, 配置为接收电控单元的制动控制信号, 用于控制制动装置产生与制动控制信号对应的制动力矩。

[0035] 进一步地, 上述系统还包括轮速传感器, 配置为与电控单元连接, 用于检测车轮速度并发送至电控单元以计算车轮角加速度。

[0036] 第三方面, 本发明提供一种机电式制动装置, 用于产生第一方面的控制方法中的第一制动力矩或第二制动力矩以作用于车轮上, 包括:

[0037] 制动器, 其通过第一固定件紧固在制动支架上, 与制动楔块通过杠杆结构连接, 制动器在制动力的作用下驱动杠杆结构相对于制动支架转动;

[0038] 制动楔块的一侧与第一刹车片接触, 另一侧滑动连接制动钳, 制动钳通过第二固定件紧固在制动支架上, 制动钳与制动楔块之间设置有第二刹车片, 刹车盘设置于第一刹车片与第二刹车片之间;

[0039] 作用于制动器上的制动力通过杠杆结构传导至制动楔块, 制动楔块在力的作用下

挤压第一刹车片,使得第一刹车片和第二刹车片相向运动接触刹车盘或反向运动远离刹车盘。

[0040] 进一步地,杠杆结构包括第一端、第二端和第三端;

[0041] 第一端和第二端分别利用第一连接件和第二连接件与制动器枢接,第三端利用第三连接件与制动楔块枢接,第一端和第三端随制动器的运动在第二连接件上枢转,第三端的枢转驱动制动楔块相对于制动钳滑动。

[0042] 进一步地,在上述的杠杆结构中,第一端与第二端的距离大于第二端与第三端的距离。

[0043] 进一步地,制动器包括机架、定子和动子;

[0044] 定子固定在机架上,且环绕设置在动子外侧;

[0045] 动子通过第一连接件与杠杆结构的第一端枢接,被施加制动力时动子在竖直方向上运动,驱动杠杆结构的第一端在第二连接件上枢转。

[0046] 第四方面,本发明提供一种车辆,其上安装有如第二方面的防抱死制动控制系统,用于实现第一方面的防抱死制动控制方法,车辆设置有至少一个第三方面的机电式制动装置。

[0047] 进一步地,车辆具有多个车轮,每个车轮均设置有如第三方面的机电式制动装置。

[0048] 本发明具有如下有益效果:

[0049] 本发明公开了一种防抱死制动控制方法、系统及机电式制动装置,其中的防抱死制动控制方法通过检测车轮角加速度来观察附着力和附着系数的变化,通过减速和加速的循环使得车辆在制动时实时的附着力和附着系数最大化,防止车轮抱死,缩短制动距离,由于只需要测量车轮角加速度,适用于各种路面、车速和车载的情况;本发明公开的机电式制动装置,利用杠杆原理把在制动器上施加的制动力矩转换为对刹车片的作用力,由制动楔块实现刹车,力的传递由机械结构完成,不需要复杂的液压动力装置,相比常规的液电制动装置结构更简单,用于防抱死制动时没有踏板振动,制动力矩控制更准确,提高制动效率和稳定性。

附图说明

[0050] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据提供的附图获得其他的附图。

[0051] 图1为本发明实施例提供的防抱死制动控制方法的一种实现流程;

[0052] 图2为本发明实施例提供的防抱死制动控制方法的另一流程示意;

[0053] 图3为本发明实施例提供的防抱死制动控制方法的另一实现流程;

[0054] 图4为本发明实施例提供的在干燥柏油路面上模拟防抱死制动的参数变化;

[0055] 图5为本发明实施例提供的在湿柏油路面上模拟防抱死制动的参数变化;

[0056] 图6为本发明实施例提供的在雪地路面上模拟防抱死制动的参数变化;

[0057] 图7为本发明实施例提供的在结冰路面上模拟防抱死制动的参数变化;

[0058] 图8为本发明实施例提供的防抱死制动控制系统的结构示意;

- [0059] 图9为本发明实施例提供的机电式制动装置的整体结构示意图；
 [0060] 图10为本发明实施例提供的机电式制动装置的局部结构示意图；
 [0061] 图11为本发明实施例提供的机电式制动装置的俯视图；
 [0062] 图12为图11在A-A方向的剖视图；
 [0063] 图13为本发明实施例提供的机电式制动装置各部件的爆炸图；
 [0064] 图14为本发明实施例提供的机电式制动装置的应用示意；
 [0065] 图15为本发明实施例提供的车辆结构示意图。

具体实施方式

[0066] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0067] 实施例一

[0068] 参阅图1,本实施例提供一种防抱死制动控制方法,该方法通过观察车轮角加速度以控制制动力矩,使车轮循环运转,每个控制周期包括车轮的减速阶段和加速阶段。

[0069] 当车辆触发防抱死制动时,车轮进入首个控制周期的减速阶段,在第一制动力矩的作用下减速。

[0070] 在减速初始,车轮角加速度达到当前减速阶段的最小值(绝对值最大),此后车轮滑行减速,角加速度不断增加(绝对值减小),因此附着力 F_{afw} 和附着系数 μ_{af} 增加,当车轮角加速度达到当前减速阶段的最大值,附着力/附着系数(F_{afw}/μ_{af})这一参数也达到最大值,根据常规力学原理,车轮停止加速,进入控制周期的加速阶段。

[0071] 车轮在第二制动力矩的作用下加速。在加速初始,车轮角加速度达到当前加速阶段的最大值(绝对值最大),此后车轮滑行加速,角加速度不断减小(绝对值减小),但由于车轮在加速,因此附着力 F_{afw} 和附着系数 μ_{af} 减小,车轮角加速度减小到设定的参考值时,该时刻附着力/附着系数(F_{afw}/μ_{af})的参数值记为定义值,控制车轮此时停止加速,进入下一个控制周期。

[0072] 本发明实施例通过观察角加速度变化,控制制动力矩的变化,每个控制周期都重复上述的减速阶段和加速阶段,制动力矩在每个减速阶段或加速阶段保持恒定,使得在制动力矩被连续控制的过程中, F_{afw}/μ_{af} 一直保持在一个稳定的数值范围,即保持在定义值至最大值之间,换言之 F_{afw}/μ_{af} 的实时值总是接近于最大值,通过这样的控制循环实现附着力和附着系数的实时值的最大化,且只需要检测车轮角加速度,适用于各种路况、车速和车载情况。

[0073] 在进一步的实施例中,分别建立附着力和附着系数与角加速度的关系如下:

$$[0074] \quad F_{afw} = C_{afw} (a_w + C_{bw} T_{bw})$$

$$[0075] \quad \mu_{af} = C_{uaf} (a_w + C_{bw} T_{bw})$$

[0076] 其中, $C_{afw} = J_w/r_w$, $C_{bw} = 1/J_w$, $C_{uaf} = J_w/(r_w F_w)$, F_{afw} 表示附着力, a_w 表示车轮角加速度, J_w 表示车轮的转动惯量, r_w 表示车轮半径, T_{bw} 表示制动力矩, μ_{af} 表示附着系数, F_w 表示作用在车轮上垂直方向的力。

[0077] 上述的 C_{afw} 、 C_{bw} 、 C_{uaf} 均可以视作常数,因此从上式可以看出,当制动力矩保持恒定,附着力和附着系数取决于车轮角加速度,即当制动力矩在一段时间内保持不变,则车轮角加速度的变化可以体现附着力和附着系数的变化,对于恒定的制动力矩,车轮角加速度达到局部最大值时附着力和附着系数也达到最大值。

[0078] 实施例二

[0079] 为了使读者更清楚本发明所提供的防抱死制动控制方法的实现过程,以下结合图2对该方法过程中制动力矩、角加速度、轮速和附着力/附着系数 F_{afw}/μ_{af} 的变化进行阐明。

[0080] 参阅图2,其示出了在连续两个控制周期之间各参数的对照关系和变化情况。控制过程的本质是通过制动力矩的控制使车轮进行减速和加速的循环运转,其中200a为制动力矩随时间变化的示意,200b是车轮角加速度随时间变化的示意,200c为轮速随时间变化的示意,200d为附着力/附着系数(F_{afw}/μ_{af})随时间变化的示意。

[0081] 在 t_0 时刻,控制制动力矩为 $T_{bwd,1}$ 并在第一个控制周期的减速阶段保持恒定,车轮角加速度 a_w 小于0, t_0 时刻达到最小值 $a_{wdn,0}$,轮速为 ω_{w0} ,车轮进入第一个控制周期的减速阶段, a_w 增加(绝对值在减小),因此 F_{afw}/μ_{af} 增加。当 a_w 增加至减速阶段的最大值即局部最大值 $a_{wdx,1}$ 时, F_{afw}/μ_{af} 也达到最大值 $F_{afw,max}/\mu_{af,max}$,此时轮速为 ω_{w1} ,车轮停止减速进入第一个控制周期的加速阶段。

[0082] 在 t_1 时刻,控制制动力矩为 $T_{bwa,1}$ 并在第一个控制周期的加速阶段保持恒定,使得角加速度 a_w 大于0,并从减速阶段的最大值 $a_{wdx,1}$ 变为加速阶段的最大值 $a_{wax,1}$,车轮进入第一个控制周期的加速阶段, a_w 减小(绝对值在减小),因此 F_{afw}/μ_{af} 减小。当 a_w 减小至第一个控制周期的角加速度参考值 $a_{wdef,1}$ 时, F_{afw}/μ_{af} 也达到定义值 $F_{afw,def}/\mu_{af,def}$,此时轮速为 ω_{w2} ,控制车轮停止加速进入下一个控制周期的减速阶段。

[0083] 在第二个控制周期的减速阶段,制动力矩为 $T_{bwd,2}$,角加速度 a_w 达到该减速阶段的局部最大值 $a_{wdx,2}$ 时,车轮停止减速进入加速阶段。如此往复,通过连续的控制周期完成车辆制动,能够使得附着力/附着系数 F_{afw}/μ_{af} 总是接近于最大值 $F_{afw,max}/\mu_{af,max}$ 。

[0084] 进一步的实施例中,根据前一控制周期的第一制动力矩及车轮角加速度参考值计算当前控制周期的第一制动力矩。具体地,建立相邻两个控制周期的第一制动力矩的关系如下

$$[0085] \quad T_{bwd,k} = T_{bwd,k-1} + C_d (a_{wdef,k-1} - a_{wd,obj})$$

[0086] 其中, $T_{bwd,k}$ 表示第k个控制周期的第一制动力矩, $T_{bwd,k-1}$ 表示第k-1个控制周期的第一制动力矩, C_d 表示微分常数, $a_{wdef,k-1}$ 表示第k-1个控制周期的车轮角加速度参考值, $a_{wd,obj}$ 表示车轮减速阶段下车轮角加速度的目标值, $a_{wd,obj} < 0$ 。

[0087] 进一步的实施例中,根据前一控制周期的第二制动力矩和当前控制周期在减速阶段的角加速度局部最大值计算当前控制周期的第二制动力矩。具体地,建立相邻两个控制周期的第二制动力矩的关系如下

$$[0088] \quad T_{bwa,k} = T_{bwa,k-1} + C_d (a_{wdx,k} - a_{wa,obj})$$

[0089] 其中, $T_{bwa,k}$ 表示第k个控制周期的第二制动力矩, $T_{bwa,k-1}$ 表示第k-1个控制周期的第二制动力矩, C_d 表示微分常数, $a_{wdx,k}$ 表示第k个控制周期在车轮减速阶段的角加速度局部最大值, $a_{wa,obj}$ 表示车轮加速阶段下车轮角加速度的目标值, $a_{wa,obj} > 0$ 。

[0090] 进一步的实施例中,车轮角加速度参考值的计算有如下:

[0091] $a_{wdef,k} = k_a a_{wax,k}$

[0092] 其中, $a_{wdef,k}$ 表示第k个控制周期的车轮角加速度参考值, k_a 表示在车轮加速阶段车轮角加速度的衰减系数 ($0 < k_a < 1$), $a_{wax,k}$ 表示第k个控制周期在车轮加速阶段的角加速度局部最大值。

[0093] 实施例三

[0094] 基于以上对本发明公开的防抱死制动控制方法的描述, 可以用图3来简要解释制动控制过程, 图3示出了制动控制过程的其中一种情形。

[0095] 201a表示车轮进入第k个控制周期, 接着执行201b。

[0096] 201b表示本控制周期减速阶段的制动力矩的计算, 取决于上一个控制周期减速阶段的制动力矩和车轮角加速度参考值, 且车轮角加速度的目标值 $a_{wd,obj} < 0$, 在该恒定的制动力矩下, 车轮速度下降, 角加速度小于0并增加, F_{afw}/μ_{af} 随之增加。

[0097] 进入201c, 判断角加速度是否达到局部最大值 $a_{wdx,k}$, 未达到时表示 F_{afw}/μ_{af} 还没增至其最大值 $F_{afw,max}/\mu_{af,max}$, 车轮继续减速。角加速度达到局部最大值 $a_{wdx,k}$ 时, 控制制动力矩改变, 进入本控制周期的加速阶段201d。

[0098] 201d表示本控制周期加速阶段的制动力矩的计算, 取决于上一个控制周期加速阶段的制动力矩和本控制周期在减速阶段的角加速度局部最大值, 且车轮角加速度的目标值 $a_{wa,obj} > 0$, 在该恒定的制动力矩下, 车轮加速, 角加速度大于0并减小, F_{afw}/μ_{af} 随之减小。

[0099] 进入201e, 计算本控制周期的角加速度参考值, 取决于本控制周期加速阶段的局部最大值。

[0100] 进入201f, 判断角加速度是否达到参考值 $a_{wdef,k}$, 未达到时表示 F_{afw}/μ_{af} 还没达到定义值 $F_{afw,def}/\mu_{af,def}$, 车轮继续加速。角加速度达到参考值 $a_{wdef,k}$ 时, 控制制动力矩改变, 进入下一个控制周期, 201g即更新周期序号, 循环执行201a~201g。

[0101] 容易理解的是, 图3仅仅是示出了其中一种控制流程的情形, 并非对本发明实施例的限制, 步骤的执行先后顺序可在不脱离本发明技术方案的基础上进行变化, 例如201d和201e可以同时执行。

[0102] 为了说明本发明实施例公开的防抱死制动控制方法的适用性和稳定性, 结合以下图4~图7进行阐明。

[0103] 参阅图4, 202为利用本发明实施例的防抱死制动控制进行的模拟制动操作, 模拟初始车速120km/h, 路况为干燥柏油路面。202a表示模拟车速 (Vehicle) 和轮周速度 (Wheel), 202b表示制动距离, 202c示出了最大附着系数 (Maximum) 和实时附着系数 (Real-time) 的变化, 202d表示制动力矩。可见对于干燥柏油路面的制动场景, 本发明的防抱死制动控制方法能够迫使实时附着系数总是靠近最大附着系数并在最大值附近变化。

[0104] 参阅图5, 203为利用本发明实施例的防抱死制动控制进行的模拟制动操作, 模拟初始车速80km/h, 路况为湿柏油路面。203a表示模拟车速 (Vehicle) 和轮周速度 (Wheel), 203b表示制动距离, 203c示出了最大附着系数 (Maximum) 和实时附着系数 (Real-time) 的变化, 203d表示制动力矩。可见对于湿柏油路面的制动场景, 本发明的防抱死制动控制方法能够迫使实时附着系数总是靠近最大附着系数并在最大值附近变化。

[0105] 同样地, 图6示出的模拟初始车速45km/h在雪地路面上制动的情形, 图7示出的模拟初始车速35km/h在结冰路面上制动的情形, 本发明的防抱死制动控制方法都能够迫使其

实时附着系数总是靠近最大附着系数并在最大值附近变化。

[0106] 实施例四

[0107] 如图8所示,本实施例提供一种防抱死制动控制系统300,包括电控单元310和制动控制单元320。电控单元310配置为存储有计算机程序,该程序被执行时,实现以上各实施例示出的防抱死制动控制方法,进而输出与第一制动力矩或第二制动力矩对应的制动控制信号;制动控制单元320配置为接收电控单元310的制动控制信号,用于控制车辆上的制动装置产生与制动控制信号对应的制动力矩,制动力矩作用于车轮实现防抱死制动。

[0108] 在其他可能的实施例中,车轮角加速度可以通过检测连续的轮速计算,防抱死制动控制系统300还可以包括轮速传感器,其被配置为与电控单元连接,用于检测车轮速度并发送至电控单元310以计算车轮角加速度。

[0109] 实施例五

[0110] 如图9和图10所示,为本发明提供的机电式制动装置100的整体结构图,包括制动器101、杠杆结构102、制动支架103和制动楔块104。制动器101通过第一固定件105紧固在制动支架103上,与制动楔块104通过杠杆结构102连接,制动器101在制动力的作用下驱动杠杆结构102相对于制动支架103转动。

[0111] 制动楔块104的一侧接触第一刹车片,另一侧滑动连接制动钳106,制动钳106通过第二固定件110紧固在制动支架103上,制动钳106与制动楔块104之间设置有第二刹车片,刹车盘设置于第一刹车片与第二刹车片之间。

[0112] 作用于制动器101上的制动力通过杠杆结构102传导至制动楔块104,制动楔块104在力的作用下挤压第一刹车片,使得第一刹车片和第二刹车片相向运动接触刹车盘或反向运动远离刹车盘。

[0113] 图11是图9示出的制动装置的俯视图,图12是图11中A-A方向的剖视图。杠杆结构102包括第一端102a、第二端102b和第三端102c,第一端102a和第二端102b分别利用第一连接件和第二连接件与制动器101枢接,第三端102c利用第三连接件与制动楔块104枢接,第一端102a和第三端102c随制动器101的运动在第二连接件上枢转,第三端102c的枢转驱动制动楔块104相对于制动钳106滑动。

[0114] 在可能的设计中,为了方便力的传导,第一端102a与第二端102b的距离大于第二端102b与第三端102c的距离。

[0115] 可能的设计中,制动器101包括机架101a、定子101b和动子101c,定子101b固定在机架101a上,且环绕设置在动子101c外侧,动子101c通过第一连接件与杠杆结构102的第一端102a枢接,被施加制动力时动子101c在竖直方向上线性运动,驱动杠杆结构102的第一端102a在第二连接件上枢转。

[0116] 上述提到的第一固定件105、第二紧固件110、第一连接件、第二连接件和第三连接件,本发明不对其具体结构进行限定,在不脱离本发明技术构思的基础上,本领域技术人员可以采用机械设计中常用的连接件和连接方式,例如可拆卸连接或固定连接,又例如使用螺栓、套筒、铆钉等。

[0117] 参阅图13,为本实施例提供的机电式制动装置各部件配合关系的爆炸图。

[0118] 固定件105包括第一螺栓105a和第二螺栓105b,其把制动器101的机架101a与制动支架103紧固。

[0119] 第一连接件包括第一销钉107a、第二销钉107b、第一套件107c和第二套件107d,第一销钉107a将第一套件107c的第一端和第二套件107d的第一端连接至动子101c,第二销钉107b将第一套件107c的第二端和第二套件107d的第二端连接到杠杆结构102的第一端102a,第一套件107c和第二套件107d可以在第一销钉107a和第二销钉107b上枢转。

[0120] 第二连接件包括第三销钉108,第三销钉108将杠杆结构102的第二端102b连接到机架101a,使得杠杆结构102的第二端102b可在第三销钉108上枢转,杠杆结构102的第一端102a可随着动子101c的线性运动而在第三销钉108上枢转。

[0121] 第三连接件包括第四销钉109a、第五销钉109b、第三套件109c和第四套件109d,第四销钉109a将第三套件109c的第一端和第四套件109d的第一端连接至杠杆结构102的第三端102c,第五销钉109b将第三套件109c的第二端和第四套件109d的第二端连接到制动楔块104,第三套件109c和第四套件109d可以枢转于第四销钉109a和第五销钉109b,杠杆结构102的第三端102c可以枢转于第三销钉108。

[0122] 第二紧固件110包括第三螺栓110a、第四螺栓110b,第一导杆110c和第二导杆110d,第三螺栓110a和第四螺栓110b将制动钳106与第一导杆110c、第二导杆110d紧固在一起,第一导杆110c和第二导杆110d插入制动支架103中并且可以直线运动。

[0123] 制动钳106具有一U形槽,其第一端106a与制动楔块104的第一侧滑动接触,制动楔块104的第二侧与第一刹车片111接触,制动钳106的第二端106b与第二刹车片112接触,刹车盘113设置于第一刹车片111与第二刹车片112之间。由于杠杆结构102的第三端102c的枢转,制动楔块104可以线性移动。

[0124] 基于上述结构,下面阐述该机电式制动装置的力传导过程,进而清楚地说明利用制动装置完成制动的原理。

[0125] 当驾驶者踩下踏板进行制动时,作用在动子101c上的电磁力方向向下,则动子101c通过第一连接件产生第一作用力,其作用于杠杆结构102的第一端102a,并且动子101c向下线性移动,在第一力的作用下,杠杆结构102的第一端102a在第三销钉108上顺时针枢转,因此,第一连接件将动子101c的直线运动转换为杠杆102的第一端102a的旋转运动。

[0126] 第一作用力在杠杆102上传递,转化为施加到杠杆102的第三端102c上的第二作用力,杠杆102的第三端102c在第三销钉108上顺时针枢转。由于第一端102a与第二端102b的距离大于第二端102b与第三端102c的距离,第二作用力的大小远大于第一作用力的大小,通过第三连接件将第二作用力转换成第三作用力施加到制动楔块104上,第三作用力的方向向上,因此制动楔块104向上移动。因此,第三连接件将杠杆102的第三端102c的旋转运动转换为制动楔块104的直线运动。

[0127] 制动楔块104向上移动产生第四作用力,该力为法向力,施加于第一刹车片111,方向为左;第四作用力的相对力,即第五作用力,施加于制动钳106的第一端106a的内侧面,方向为右。因此,第一刹车片111向左移动并且制动钳106向右移动。经由制动钳106,将第五作用力转换成施加于第二刹车片112的第六作用力,该力是法向力且方向向右。第四作用力的大小与第六作用力大小相等,方向相反。

[0128] 在第四作用力和第六作用力的施加作用下,第一刹车片111和第二刹车片112向设置于两个刹车片之间的刹车盘113相向移动,直到第一刹车片111和第二刹车片112与刹车盘113接触。第四作用力通过第一刹车片111转换为作用于刹车盘113第一侧面的第七作用

力,为向左的法向力;第六作用力通过第二刹车片112转换为施加于刹车盘113第二侧面的第八作用力,为向右的法向力。第七作用力与第八作用力大小相等,因此,第七作用力在第一刹车片111与刹车113之间产生第一摩擦力,而第八作用力在第二刹车片112与刹车盘113之间产生第二摩擦力,第一摩擦力和第二摩擦力产生方向与刹车盘113的转动方向相反的摩擦力矩,即制动力矩,使刹车盘113停止转动。

[0129] 反之,如果作用于动子101c的电磁力方向向上,则动子101c向上移动,则杠杆102的第一端102a在第三销钉108上逆时针转动,第三端102c在第三销钉108上逆时针枢转,这导致制动楔块104向下移动,第一刹车片111和第二刹车片112被释放,制动终止。

[0130] 该机电式制动装置被应用于车辆的制动系统时,如图14的结构图所示,踩下踏板114时,踏板114向制动装置的制动控制单元(ACU)115输出信号电压,电源116向制动控制单元115和制动器101供电,信号电压的大小随着踩下的踏板114的角度而变化。力的传导在机电式制动装置中的部件102~110中完成,使得第一刹车片111和第二刹车片112向刹车盘113移动,直到第一刹车片111和第二刹车片112与刹车盘113接触,施加在第一刹车片111和第二刹车片112上的法向力随着踏板输出的电信号而变化,从而在第一刹车片111和第二刹车片112与刹车盘113之间产生摩擦力,使转动的刹车盘113停止。

[0131] 如果释放踏板114,由踏板114输出的信号电压减小到最小值,因此ACU115控制制动器101沿相反方向输出电磁力,使得制动器101的动子101c沿另一方向线性移动,从而释放第一刹车片111和第二刹车片112,终止制动。

[0132] 当该机电式制动装置用于实现前述实施例提供的防抱死制动控制方法时,可以建立信号电压与制动力矩之间的转换关系,这里假设制动楔块104的夹角为 α ,则信号电压 V_{in} 与制动力矩 T_{bw} 的关系如下:

$$[0133] \quad V_{in} = \frac{T_{bw}}{K_{EMB}}$$

$$[0134] \quad K_{EMB} = \frac{2\mu_{pd}r_p K_c L_r (\cos\alpha - \mu_f \sin\alpha)}{L_1 (\sin\alpha + 2\mu_f \cos\alpha - \mu_f^2 \sin\alpha)}$$

[0135] 其中, μ_{pd} 表示刹车片与刹车盘之间的摩擦系数, r_p 表示刹车片的平均半径, L_r 表示杠杆102的第一端102a与第二端102b之间的距离, L_1 表示杠杆102的第二端102b与第三端102c之间的距离,表示第一刹车片111与制动楔块104之间的摩擦系数。

[0136] 实施例六

[0137] 参阅图15,本实施例提供一种车辆400,401~404为车轮,405~408为本发明实施例提供的机电式制动装置,409~412为轮速传感器,413~416为制动控制单元ACU,417为制动踏板,418为本发明实施例提供的防抱死制动控制系统的电控单元(ECU),系统安装有程序,用于实现本发明实施例提供的防抱死制动控制方法。电控单元418在制动操作下通过传感器409~412接收测得的车轮速度,并执行防抱死制动控制方法的控制算法,输出制动控制信号到ACU413~416,其控制制动装置405~408以产生所需的制动力矩,以最大化四个车轮的附着力及附着系数。

[0138] 可以理解的是,本发明各实施例提供的机电式制动装置可以在一架车辆上集成为一个设备,也可以为每个车轮都设置独立的制动装置,不限于图15所示出的情形。

[0139] 最后,还需要说明的是,在本文中,诸如第一和第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来,而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且,术语“包括”、“包含”或者任何其他变体意在涵盖非排他性的包含,从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素,而且还包括没有明确列出的其他要素,或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下,由语句“包括一个……”限定的要素,并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

[0140] 以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的技术人员应当理解:其依然可以对前述实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明实施例技术方案的精神和范围。

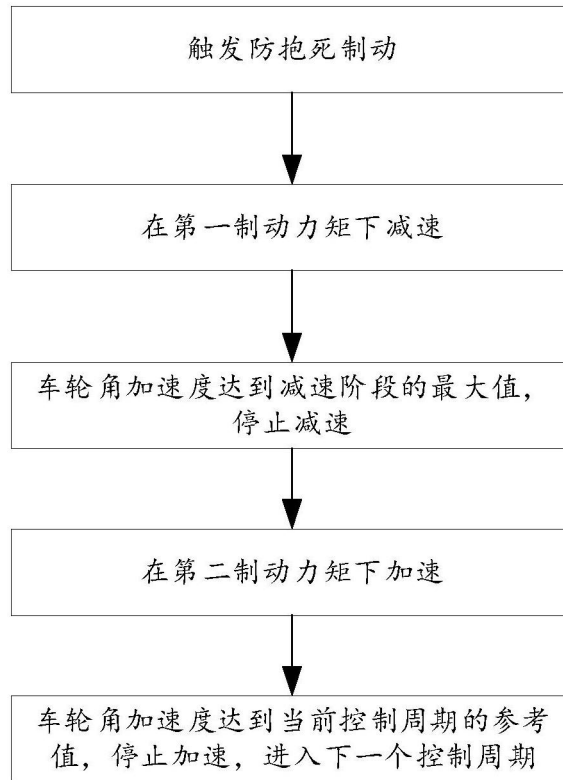


图1

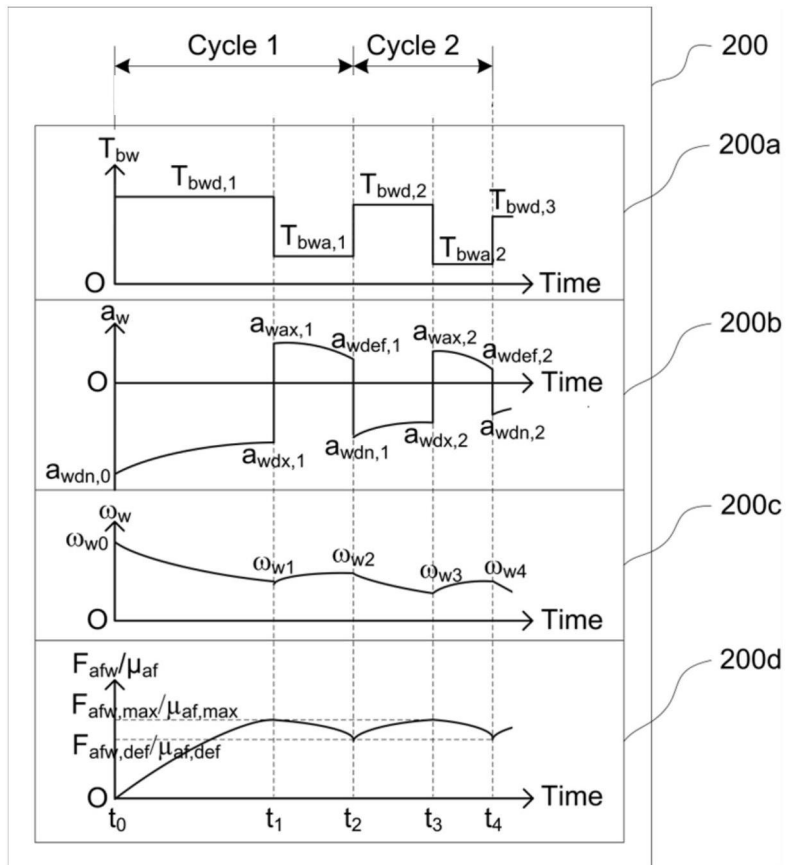


图2

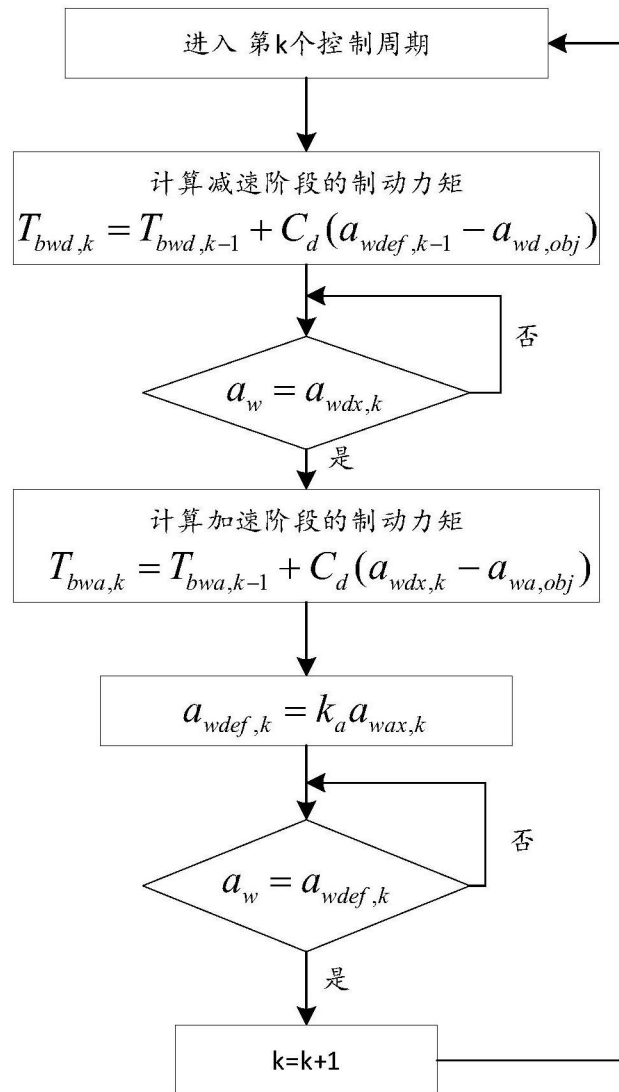


图3

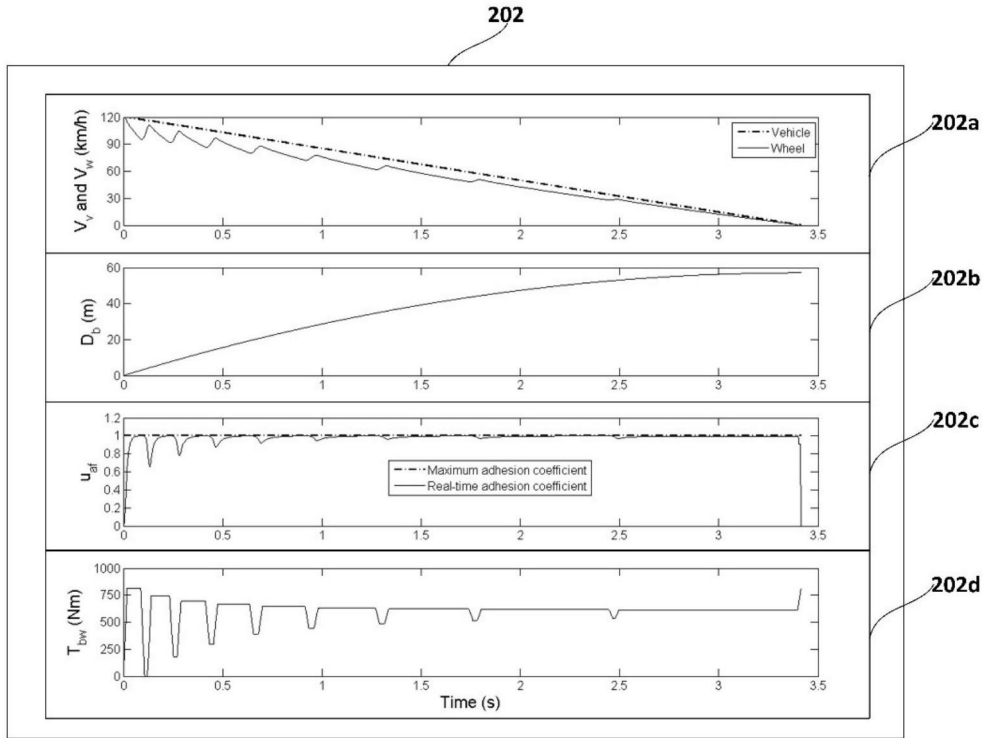


图4

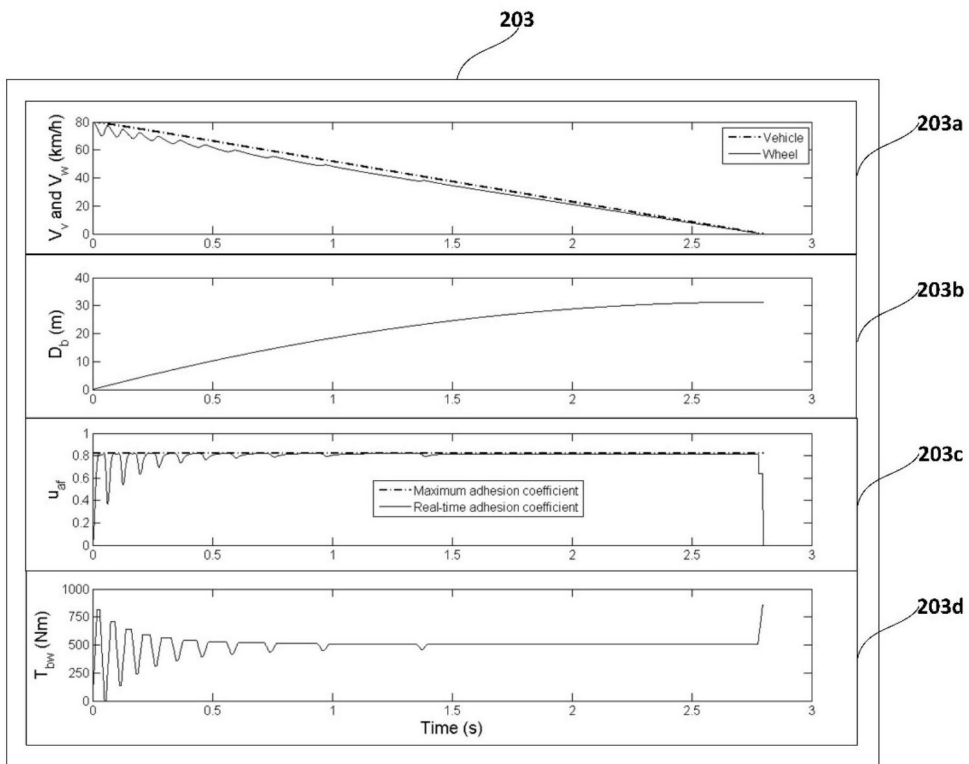


图5

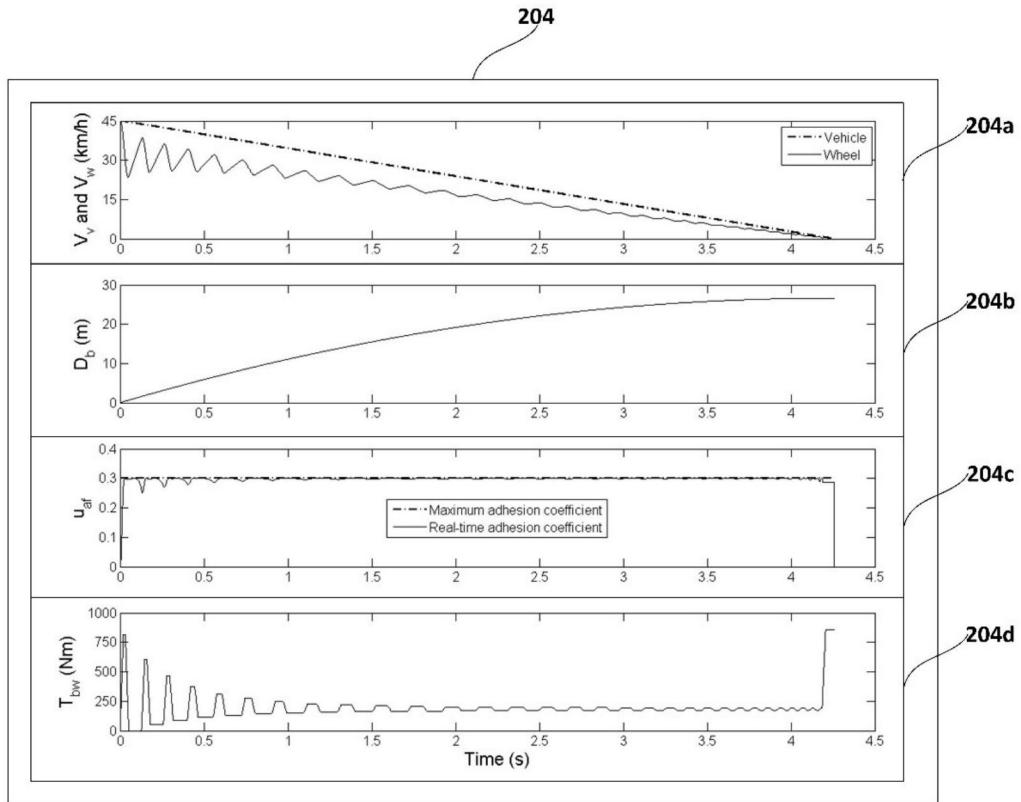


图6

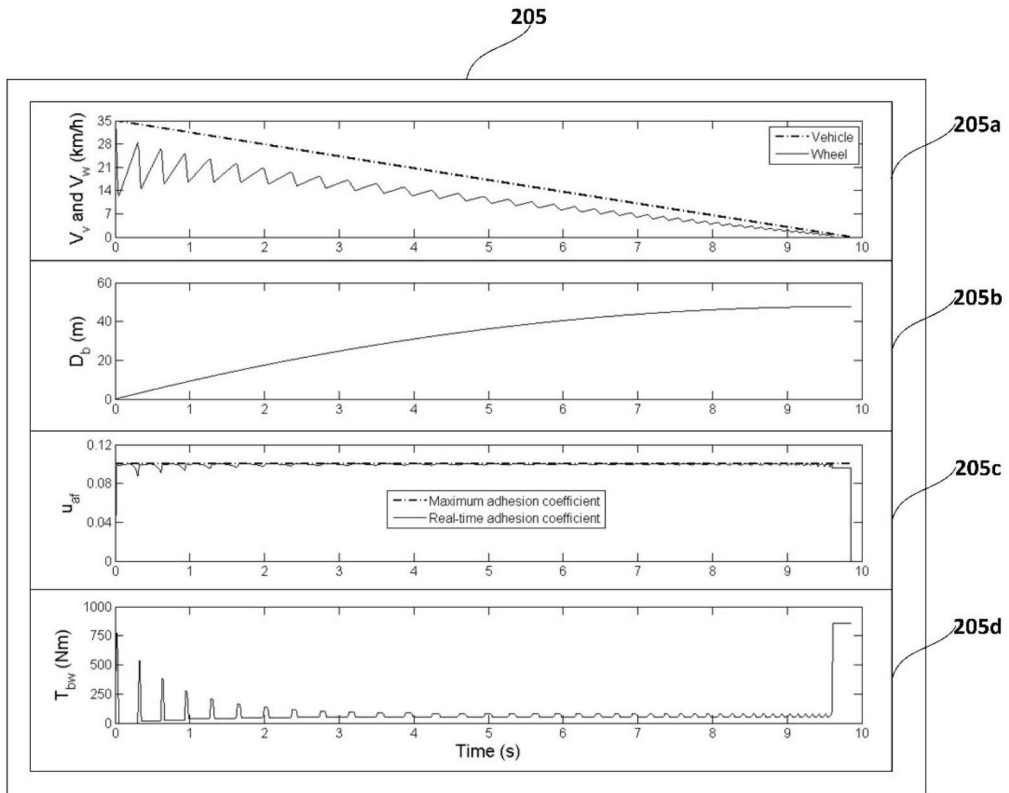


图7

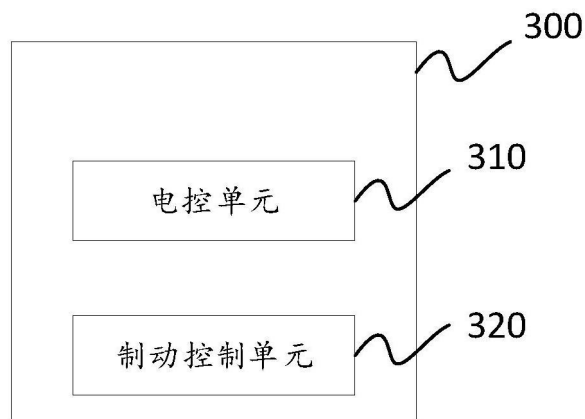


图8

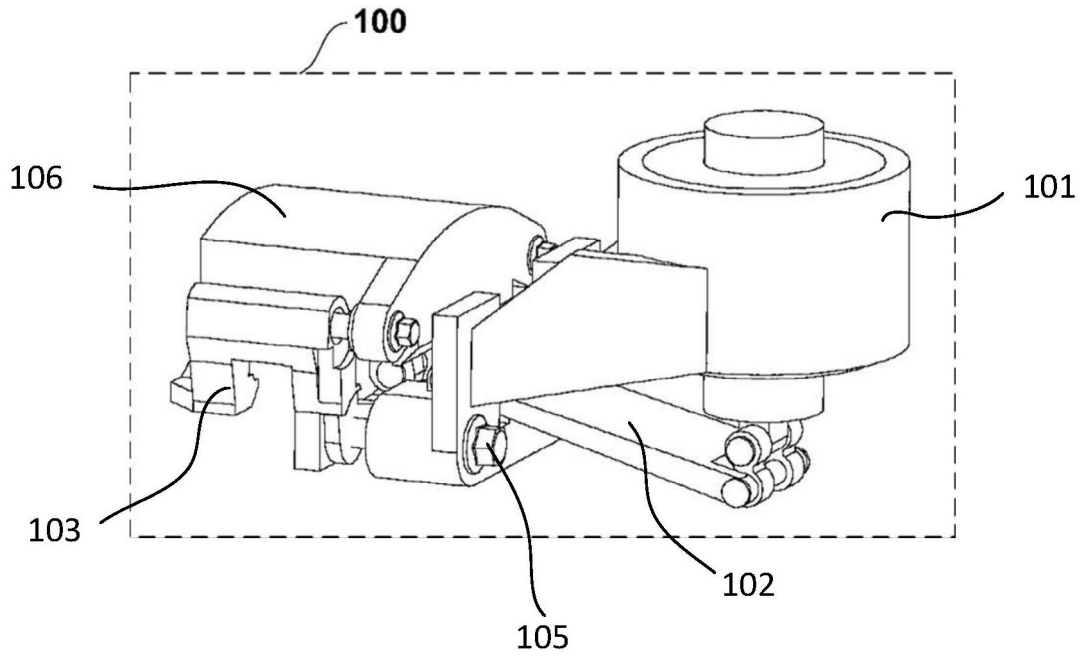


图9

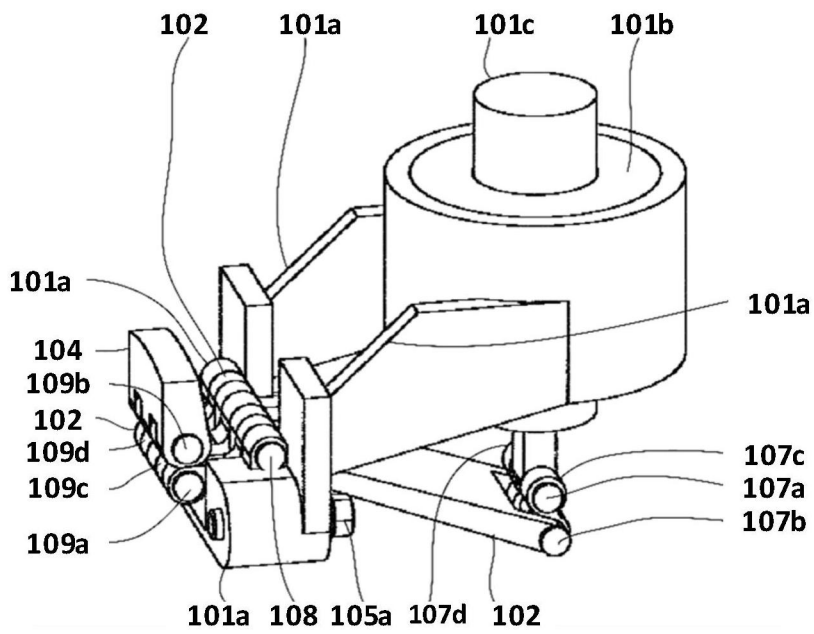


图10

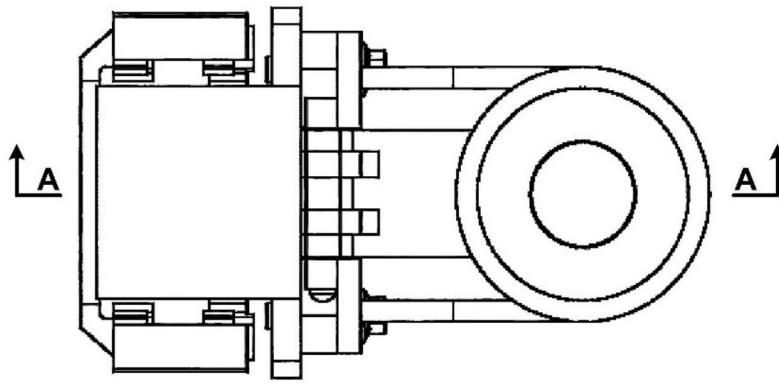


图11

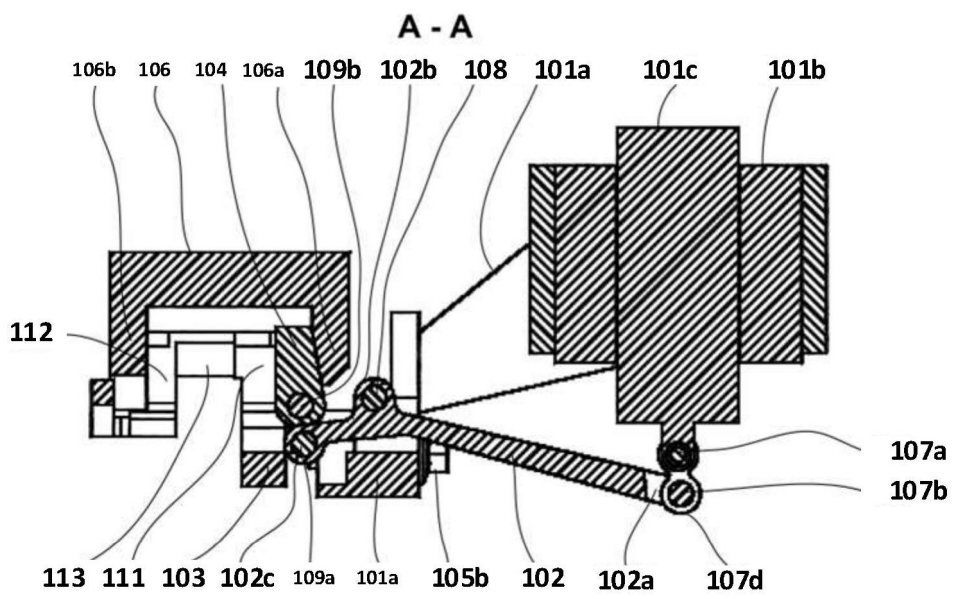


图12

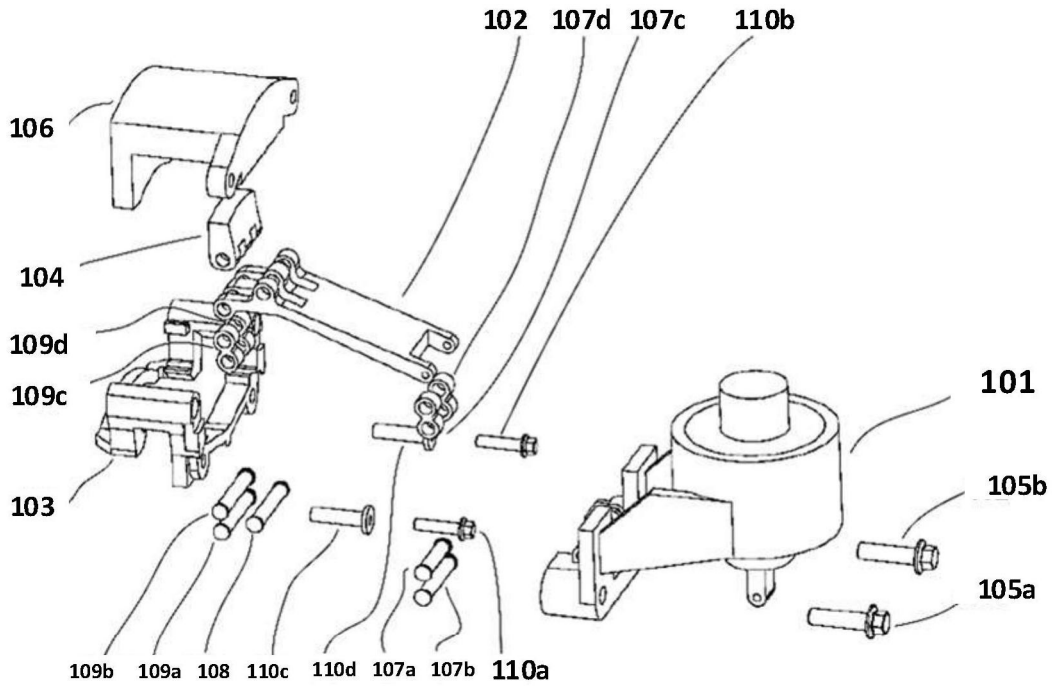


图13

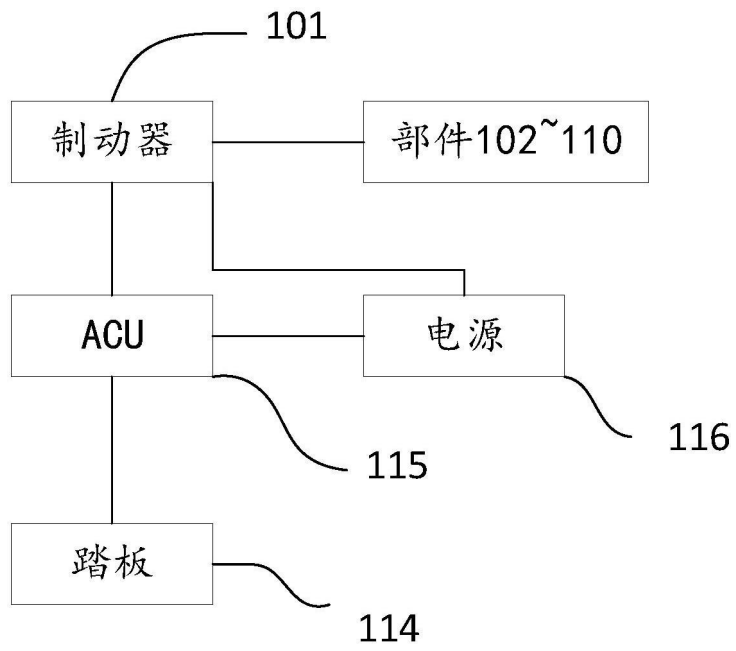


图14

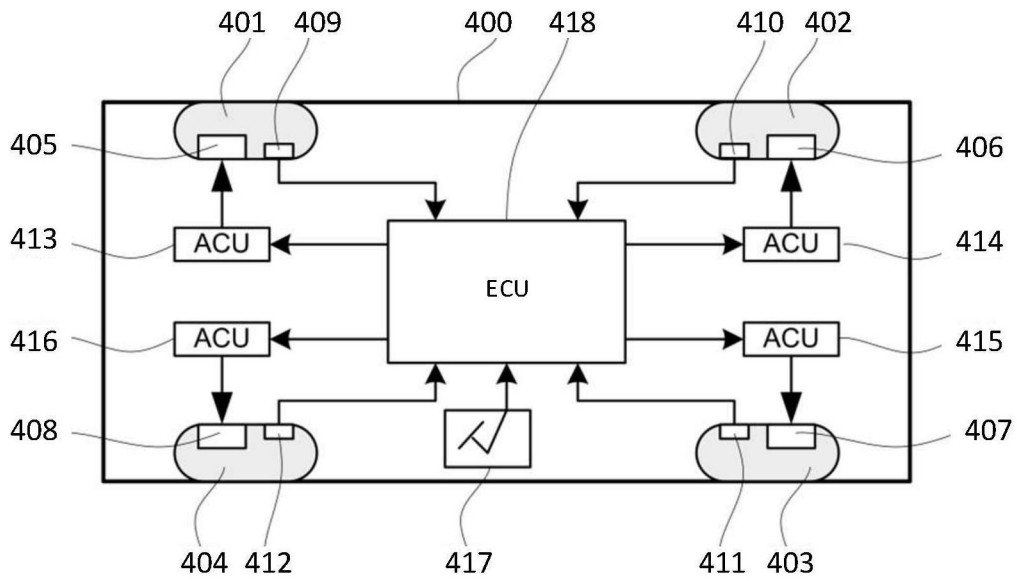


图15