(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106828121 A
(43)申请公布日 2017.06.13

(21)申请号 201710071260.1

(22)申请日 2017.02.09

(71)申请人 北京长城华冠汽车科技股份有限公司
地址 101300 北京市顺义区仁和镇时骏北街1号院4栋(科技创新功能区)

(72)发明人 陆群 唐彩明

(74)专利代理机构 北京德琦知识产权代理有限公司 11018
代理人 衣淑凤 宋志强

(51)Int.Cl.
B60L 7/26(2006.01)
B60L 15/20(2006.01)

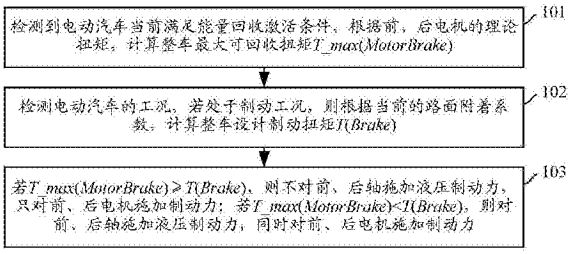
权利要求书3页 说明书9页 附图3页

(54)发明名称

电动汽车的能量回收方法及装置

(57)摘要

本发明提出电动汽车的能量回收方法及装置。方法包括:检测到电动汽车当前满足能量回收激活条件,根据前、后电机的理论扭矩,计算整车最大可回收扭矩T_max(MotorBrake);检测电动汽车的工况,若处于制动工况,则根据当前的路面附着系数,计算整车设计制动扭矩T(Brake),若T_max(MotorBrake)≥T(Brake),则不对前、后轴施加液压制动力,只对前、后电机施加制动力,若T_max(MotorBrake)<T(Brake),则对前、后轴施加液压制动力,同时对前、后电机施加制动力。本发明实现了对双轴双电机电动汽车的能量回收。



CN 106828121 A

1.一种电动汽车的能量回收方法，其特征在于，该方法包括：

检测到电动汽车当前满足能量回收激活条件，根据前、后电机的理论扭矩，计算整车最大可回收扭矩T_max(MotorBrake)；

检测电动汽车的工况，若处于制动工况，则根据当前的路面附着系数，计算整车设计制动扭矩T(Brake)，

若T_max(MotorBrake)≥T(Brake)，则不对前、后轴施加液压制动力，只对前、后电机施加制动力，

若T_max(MotorBrake)<T(Brake)，则对前、后轴施加液压制动力，同时对前、后电机施加制动力。

2.根据权利要求1所述的方法，其特征在于，若T_max(MotorBrake)≥T(Brake)，所述对前、后电机施加制动力包括：

计算$T(f_motor)=K(\varphi)\times T(Brake)$和 $T(r_motor)=(1-K(\varphi))\times T(Brake)$

其中，T(f_motor)为前电机的制动扭矩，T(r_motor)为后电机的制动扭矩，$K(\varphi)$为根据当前路由附着系数φ，查找电动汽车的理想制动力分配系数表，得到的电动汽车的前、后轴的理想制动力分配系数；

根据T(f_motor)、T(r_motor)控制前、后电机产生制动扭矩。

3.根据权利要求1所述的方法，其特征在于，若T_max(MotorBrake)<T(Brake)，所述对前、后轴施加液压制动力，同时对前、后电机施加制动力包括：

计算液压补偿扭矩T(comp_hydru)＝T(Brake)-T_max(MotorBrake)

则$T(f_hydru)=T(comp_hydru)\times K(\varphi)$，$T(r_hydru)=T(comp_hydru)\times(1-K(\varphi))$

则

$$T(f_motor)=T(f_Brake)-T(comp_hydru)\times K(\varphi)$$

$$T(r_motor)=T(r_Brake)-T(comp_hydru)\times(1-K(\varphi))$$

根据T(f_hydru)、T(r_hydru)对前、后轴施加液压制动力，根据T(f_motor)、T(r_motor)控制前、后电机产生制动扭矩；

其中，T(f_hydru)为前轴的液压制动扭矩，T(r_hydru)为后轴的液压制动扭矩，T(f_motor)为前电机的制动扭矩，T(r_motor)为后电机的制动扭矩，$K(\varphi)$为根据当前路由附着系数φ，查找电动汽车的理想制动力分配系数表，得到的电动汽车的前、后轴的理想制动力分配系数。

4.根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述能量回收激活条件为：

电动汽车处于非上坡制动的制动工况；或者，

电池剩余电量小于预设电量阈值；或者，

车速大于预设车速阈值。

5.根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述方法进一步包括：

在制动能量回收过程中，若检测到电动汽车处于向上坡度制动，则停止能量回收；或者，

在能量回收过程中，若电动汽车发生转弯制动，则对前电机制动扭矩进行快速滤波，对

后电机制动扭矩进行慢速滤波。

6.一种电动汽车的能量回收装置，其特征在于，该装置包括：

能量回收激活判断模块：用于判断电动汽车是否满足能量回收激活条件，若满足，向整车最大可回收扭矩计算模块、整车设计制动扭矩计算模块发送能量回收激活指示；

整车最大可回收扭矩计算模块：接收到能量回收激活指示，根据前、后电机的理论扭矩，计算整车最大可回收扭矩T_max(MotorBrake)；

整车设计制动扭矩计算模块：接收到能量回收激活指示，检测电动汽车的工况，若处于制动工况，则根据当前的路面附着系数，计算整车设计制动扭矩T(Brake)；

能量回收控制模块：若T_max(MotorBrake)≥T(Brake)，则不对前、后轴施加液压制动力，确定只对前、后电机施加制动力，若T_max(MotorBrake)<T(Brake)，则确定对前、后轴施加液压制动力，同时对前、后电机施加制动力。

7.根据权利要求6所述的装置，其特征在于，若T_max(MotorBrake)≥T(Brake)，所述能量回收控制模块确定对前、后电机施加制动力包括：

计算$T(f_motor)=K(\varphi)\times T(Brake)$和 $T(r_motor)=(1-K(\varphi))\times T(Brake)$

其中，T(f_motor)为前电机的制动扭矩，T(r_motor)为后电机的制动扭矩，$K(\varphi)$为根据当前路由附着系数φ，查找电动汽车的理想制动力分配系数表，得到的电动汽车的前、后轴的理想制动力分配系数；

确定根据T(f_motor)、T(r_motor)控制前、后电机产生制动扭矩。

8.根据权利要求6所述的装置，其特征在于，若T_max(MotorBrake)<T(Brake)，所述能量回收控制模块确定对前、后轴施加液压制动力，同时对前、后电机施加制动力包括：

计算液压补偿扭矩T(comp_hydru)＝T(Brake)-T_max(MotorBrake)

则$T(f_hydru)=T(comp_hydru)\times K(\varphi)$，$T(r_hydru)=T(comp_hydru)\times(1-K(\varphi))$

则

$$T(f_motor)=T(f_Brake)-T(comp_hydru)\times K(\varphi)$$

$$T(r_motor)=T(r_Brake)-T(comp_hydru)\times(1-K(\varphi))$$

确定根据T(f_hydru)、T(r_hydru)对前、后轴施加液压制动力，根据T(f_motor)、T(r_motor)控制前、后电机产生制动扭矩；

其中，T(f_hydru)为前轴的液压制动扭矩，T(r_hydru)为后轴的液压制动扭矩，T(f_motor)为前电机的制动扭矩，T(r_motor)为后电机的制动扭矩，$K(\varphi)$为根据当前路由附着系数φ，查找电动汽车的理想制动力分配系数表，得到的电动汽车的前、后轴的理想制动力分配系数。

9.根据权利要求6所述的装置，其特征在于，所述能量回收激活判断模块判断满足的能量回收激活条件为：

电动汽车处于非上坡制动的制动工况；或者，

电池剩余电量小于预设电量阈值；或者，

车速大于预设车速阈值。

10.根据权利要求6所述的装置，其特征在于，所述能量回收控制模块进一步包括：

在制动能量回收过程中，若检测到电动汽车处于向上坡度制动，则确定停止能量回收；

或者，

在能量回收过程中，若电动汽车发生转弯制动，则确定对前电机制动扭矩进行快速滤波，对后电机制动扭矩进行慢速滤波。

电动汽车的能量回收方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及电动汽车技术领域，尤其涉及电动汽车的能量回收方法及装置。

背景技术

[0002] 目前，纯电动汽车处于产业化初级阶段，以单电机单轴驱动结构方案较为普遍。基于此类技术方案，目前市场上已有比较成熟的单轴驱动纯电动动力总成控制方法。但单纯单电机驱动形式限制了电动汽车整车综合性能的提升，而双电机驱动的形式为电动车动力集成控制提供更多的选择。

[0003] 与传统的单轴驱动动力系统控制方法相比，双轴双电机纯电动车动力系统控制方法有着不同的要求和特点。对于双驱动轴双电机电动汽车而言，其控制方法主要集中在双电机驱动力控制以及双电机驱动机械联动方式设计，但是对于如何利用双电机的特有优势来更好地进行电动汽车能量回收，在相关技术中，并没有行之有效的解决方法。

[0004] 现有电动汽车能量回收技术主要是对于单电机的能量回收进行控制。踩下制动踏板后，因为车辆前后制动力分配比通常为定值，为防止因为较大的能量回收扭矩施加到单一车轮上引起制动力分配比例发生变化而造成制动不稳定性，通常单电机能量回收力矩被限定为一个较小的恒值或者轻度电液复合制动，因此普遍存在制动能量回收效率低的问题。对于单电机能量回收控制而言，中度以上的电液复合制动对液压管路设计和液压协调控制要求较高。

[0005] 对于双电机能量回收现有控制方案通常为根据当前最大可回收功率和制动需求功率进行比较来判断是执行单电机或双电机不同模式的能量回收进行研究分析，但对如何利用双轴双电机实现高效制动以及不同工况下的双轴双电机能量回收控制、能量回收控制中制动力分配方案研究较少。

发明内容

[0006] 本发明提供电动汽车的能量回收方法及装置，以实现对双轴双电机电动汽车的能量回收。

[0007] 本发明的技术方案是这样实现的：

[0008] 一种电动汽车的能量回收方法，该方法包括：

[0009] 检测到电动汽车当前满足能量回收激活条件，根据前、后电机的理论扭矩，计算整车最大可回收扭矩T_max(MotorBrake)；

[0010] 检测电动汽车的工况，若处于制动工况，则根据当前的路面附着系数，计算整车设计制动扭矩T(Brake)，

[0011] 若T_max(MotorBrake)≥T(Brake)，则不对前、后轴施加液压制动力，只对前、后电机施加制动力，

[0012] 若T_max(MotorBrake)<T(Brake)，则对前、后轴施加液压制动力，同时对前、后电机施加制动力。

[0013] 若T_max(MotorBrake)≥T(Brake)，所述对前、后电机施加制动力包括：

[0014] 计算$T(f_motor)=K(\varphi)\times T(Brake)$和$T(r_motor)=(1-K(\varphi))\times T(Brake)$

[0015] 其中，T(f_motor)为前电机的制动扭矩，T(r_motor)为后电机的制动扭矩，$K(\varphi)$为根据当前路由附着系数φ，查找电动汽车的理想制动力分配系数表，得到的电动汽车的前、后轴的理想制动力分配系数；

[0016] 根据T(f_motor)、T(r_motor)控制前、后电机产生制动扭矩。

[0017] 若T_max(MotorBrake)<T(Brake)，所述对前、后轴施加液压制动力，同时对前、后电机施加制动力包括：

[0018] 计算液压补偿扭矩T(comp_hydru)＝T(Brake)-T_max(MotorBrake)

[0019] 则$T(f_hydru)=T(comp_hydru)\times K(\varphi)$，$T(r_hydru)=T(comp_hydru)\times(1-K(\varphi))$

[0020] 则

[0021] $$T(f_motor)=T(f_Brake)-T(comp_hydru)\times K(\varphi)$$

[0022] $$T(r_motor)=T(r_Brake)-T(comp_hydru)\times(1-K(\varphi))$$

[0023] 根据T(f_hydru)、T(r_hydru)对前、后轴施加液压制动力，根据T(f_motor)、T(r_motor)控制前、后电机产生制动扭矩；

[0024] 其中，T(f_hydru)为前轴的液压制动扭矩，T(r_hydru)为后轴的液压制动扭矩，T(f_motor)为前电机的制动扭矩，T(r_motor)为后电机的制动扭矩，$K(\varphi)$为根据当前路由附着系数φ，查找电动汽车的理想制动力分配系数表，得到的电动汽车的前、后轴的理想制动力分配系数。

[0025] 所述能量回收激活条件为：

[0026] 电动汽车处于非上坡制动的制动工况；或者，

[0027] 电池剩余电量小于预设电量阈值；或者，

[0028] 车速大于预设车速阈值。

[0029] 所述方法进一步包括：

[0030] 在制动能量回收过程中，若检测到电动汽车处于向上坡度制动，则停止能量回收；或者，

[0031] 在能量回收过程中，若电动汽车发生转弯制动，则对前电机制动扭矩进行快速滤波，对后电机制动扭矩进行慢速滤波。

[0032] 一种电动汽车的能量回收装置，该装置包括：

[0033] 能量回收激活判断模块：用于判断电动汽车是否满足能量回收激活条件，若满足，向整车最大可回收扭矩计算模块、整车设计制动扭矩计算模块发送能量回收激活指示；

[0034] 整车最大可回收扭矩计算模块：接收到能量回收激活指示，根据前、后电机的理论扭矩，计算整车最大可回收扭矩T_max(MotorBrake)；

[0035] 整车设计制动扭矩计算模块：接收到能量回收激活指示，检测电动汽车的工况，若处于制动工况，则根据当前的路面附着系数，计算整车设计制动扭矩T(Brake)；

[0036] 能量回收控制模块：若T_max(MotorBrake)≥T(Brake)，则不对前、后轴施加液压制动力，确定只对前、后电机施加制动力，若T_max(MotorBrake)<T(Brake)，则确定对前、后轴施加液压制动力，同时对前、后电机施加制动力。

[0037] 其特征在于，若T_max(MotorBrake)≥T(Brake)，所述能量回收控制模块确定对前、后电机施加制动力包括：

[0038] 计算$T(f_motor)=K(\varphi)\times T(Brake)$和$T(r_motor)=(1-K(\varphi))\times T(Brake)$

[0039] 其中，T(f_motor)为前电机的制动扭矩，T(r_motor)为后电机的制动扭矩，$K(\varphi)$为根据当前路由附着系数φ，查找电动汽车的理想制动力分配系数表，得到的电动汽车的前、后轴的理想制动力分配系数；

[0040] 确定根据T(f_motor)、T(r_motor)控制前、后电机产生制动扭矩。

[0041] 若T_max(MotorBrake)<T(Brake)，所述能量回收控制模块确定对前、后轴施加液压制动力，同时对前、后电机施加制动力包括：

[0042] 计算液压补偿扭矩T(comp_hydru)＝T(Brake)-T_max(MotorBrake)

[0043] 则$T(f_hydru)=T(comp_hydru)\times K(\varphi)$，$T(r_hydru)=T(comp_hydru)\times(1-K(\varphi))$

[0044] 则

[0045] $T(f_motor)=T(f_Brake)-T(comp_hydru)\times K(\varphi)$

[0046] $T(r_motor)=T(r_Brake)-T(comp_hydru)\times(1-K(\varphi))$

[0047] 确定根据T(f_hydru)、T(r_hydru)对前、后轴施加液压制动力，根据T(f_motor)、T(r_motor)控制前、后电机产生制动扭矩；

[0048] 其中，T(f_hydru)为前轴的液压制动扭矩，T(r_hydru)为后轴的液压制动扭矩，T(f_motor)为前电机的制动扭矩，T(r_motor)为后电机的制动扭矩，$K(\varphi)$为根据当前路由附着系数φ，查找电动汽车的理想制动力分配系数表，得到的电动汽车的前、后轴的理想制动力分配系数。

[0049] 所述能量回收激活判断模块判断满足的能量回收激活条件为：

[0050] 电动汽车处于非上坡制动的制动工况；或者，

[0051] 电池剩余电量小于预设电量阈值；或者，

[0052] 车速大于预设车速阈值。

[0053] 所述能量回收控制模块进一步包括：

[0054] 在制动能量回收过程中，若检测到电动汽车处于向上坡度制动，则确定停止能量回收；或者，

[0055] 在能量回收过程中，若电动汽车发生转弯制动，则确定对前电机制动扭矩进行快速滤波，对后电机制动扭矩进行慢速滤波。

[0056] 本发明中，在电动汽车处于制动工况时，通过比较根据前、后电机的理论扭矩计算得到的整车最大可回收扭矩和根据当前的路面附着系数计算得到的整车设计制动扭矩的大小，采取不同的能量回收方案，使得前后轴制动力分配尽量地接近电动汽车的理想制动力分配曲线，充分提高制动效率，在增大制动回收扭矩的前提下保证了制动的平稳性。

附图说明

[0057] 图1为本发明实施例一提供的双轴双电机电动汽车的能量回收方法流程图；

[0058] 图2为本发明实施例二提供的双轴双电机电动汽车的能量回收方法流程图；

[0059] 图3为本发明提供的电机的外特性函数的示例图；

[0060] 图4为本发明提供的车辆前、后轴理想制动扭矩分配曲线示例图；

[0061] 图5为本发明实施例提供的双轴双电机电动汽车的能量回收装置的组成示意图。

具体实施方式

[0062] 下面结合附图及具体实施例对本发明再作进一步详细的说明。

[0063] 图1为本发明实施例一提供的双轴双电机电动汽车的能量回收方法流程图，其具体步骤如下：

[0064] 步骤101：检测到电动汽车当前满足能量回收激活条件，根据前、后电机的理论扭矩，计算整车最大可回收扭矩T_max(MotorBrake)。

[0065] 能量回收激活条件为：电动汽车处于非上坡制动的制动工况；或者，电池剩余电量小于预设电量阈值；或者，车速大于预设车速阈值。

[0066] 另外，能量回收激活还有一个必要条件，即电池、电机、液压管理单元均不存在故障。

[0067] 步骤102：检测电动汽车的工况，若处于制动工况，则根据当前的路面附着系数，计算整车设计制动扭矩T(Brake)。

[0068] 步骤103：若T_max(MotorBrake)≥T(Brake)，则不对前、后轴施加液压制动力，只对前、后电机施加制动力；若T_max(MotorBrake)<T(Brake)，则对前、后轴施加液压制动力，同时对前、后电机施加制动力。

[0069] 其中，若T_max(MotorBrake)≥T(Brake)，对前、后电机施加制动力包括：

[0070] 计算$T(f_motor)=K(\varphi)\times T(Brake)$和$T(r_motor)=(1-K(\varphi))\times T(Brake)$

[0071] 其中，T(f_motor)为前电机的制动扭矩，T(r_motor)为后电机的制动扭矩，$K(\varphi)$为根据当前路由附着系数φ，查找电动汽车的理想制动力分配系数表，得到的电动汽车的前、后轴的理想制动力分配系数；

[0072] 根据T(f_motor)、T(r_motor)控制前、后电机产生制动扭矩。

[0073] 其中，若T_max(MotorBrake)<T(Brake)，对前、后轴施加液压制动力，同时对前、后电机施加制动力包括：

[0074] 计算液压补偿扭矩T(comp_hydru)＝T(Brake)-T_max(MotorBrake)

[0075] 则$T(f_hydru)=T(comp_hydru)\times K(\varphi)$，$T(r_hydru)=T(comp_hydru)\times(1-K(\varphi))$

[0076] 则

[0077] $$T(f_motor)=T(f_Brake)-T(comp_hydru)\times K(\varphi)$$

[0078] $$T(r_motor)=T(r_Brake)-T(comp_hydru)\times(1-K(\varphi))$$

[0079] 根据T(f_hydru)、T(r_hydru)对前、后轴施加液压制动力，根据T(f_motor)、T(r_motor)控制前、后电机产生制动扭矩；

[0080] 其中，T(f_hydru)为前轴的液压制动扭矩，T(r_hydru)为后轴的液压制动扭矩，T(f_motor)为前电机的制动扭矩，T(r_motor)为后电机的制动扭矩，$K(\varphi)$为根据当前路由附着系数φ，查找电动汽车的理想制动力分配系数表，得到的电动汽车的前、后轴的理想制动力分配系数。

[0081] 在实际应用中，在制动能量回收过程中，若检测到电动汽车处于向上坡度制动，则

停止能量回收;或者,在能量回收过程中,若电动汽车发生转弯制动,则对前电机制动扭矩进行快速滤波,对后电机制动扭矩进行慢速滤波。

[0082] 图2为本发明实施例二提供的双轴双电机电动汽车能量回收控制方法流程图,其具体步骤如下:

[0083] 步骤201:检测到当前满足能量回收激活条件,则执行步骤202。

[0084] 能量回收激活条件可以是:车辆处于制动工况、或者电池SOC(State of Charge,剩余电量)小于预设SOC阈值、或者车速大于预设车速阈值等,且电池、电机和液压管理单元必须均不存在故障。

[0085] 步骤202:根据前、后电机外特性曲线查出当前转速n下对应的前、后电机理论扭矩T_theory(f)、T_theory(r),根据当前转速n和T_theory(f)、T_theory(r)分别计算无限制下前、后电机产生的回收功率P(gener,f)、P(gener,r)。

[0086] 具体地,T_theory(f)=f1(n),T_theory(r)=f2(n)

[0087] 其中,f1(n)表示前电机的外特性函数,f2(n)表示后电机的外特性函数,该两函数都为已知函数。图3给出了电机的外特性函数的示例图。

[0088] 步骤203:根据电池最大可充电功率P_charge、P(gener,f)、P(gener,r)、当前空调使用功率P_airc、DCDC(直流-直流)变换器使用功率P_dcdc,计算功率限制下的整车最大可回收扭矩T_max(MotorBrake)。

[0089] 具体地,T_max(MotorBrake)=

[0090] 9550*{min(P_charge,P(gener,r)+P(gener,f))+P_airc+P_dcdc}/n

[0091] T_max(MotorBrake)也称为前、后电机所能提供的最大制动扭矩。

[0092] 步骤204:根据加速器踏板和制动踏板的行程状态判断车辆是处于滑行状态还是制动状态,若处于滑行状态,执行步骤205;若处于制动状态,执行步骤206。

[0093] 步骤205:控制后电机单独开启能量回收,控制后电机产生恒定的制动扭矩,该制动扭矩小于T_max(MotorBrake)*m,本流程结束。

[0094] 其中,m为小于1的正数,优选地,m=0.3。

[0095] 步骤206:根据车速、车重、轮胎尺寸以及路面附着系数φ计算制动踏板行程对应的整车设计制动扭矩T(Brake)。

[0096] 步骤207:根据当前路面附着系数φ,查找理想制动力分配系数表,得到车辆前、后轴的理想制动力分配系数$K(\varphi)$,根据如下公式计算当前车辆前、后轴制动扭矩:

[0097] $$T(f_Brake)=K(\varphi)\times T(Brake)$$

[0098] $$T(r_Brake)=(1-K(\varphi))\times T(Brake)$$

[0099] 其中,T(f_Brake)为前轴制动扭矩,T(r_Brake)为后轴制动扭矩。

[0100] 可以看出,T(Brake)=T(f_Brake)+T(r_Brake)。

[0101] 需要说明的是,在能量回收时,整车设计制动扭矩T(Brake)以及液压制动扭矩、电机制动扭矩之间的关系如下:

[0102] T(Brake)=T(f_Brake)+T(r_Brake)

[0103] T(f_Brake)=T(f_motor)+T(f_hydru)

[0104] T(r_Brake)=T(r_motor)+T(r_hydru)

[0105] T(f_motor)+T(r_motor)≤T_max(MotorBrake)

[0106] 其中，T(f_motor)、T(r_motor)分别为前、后电机制动扭矩，T(f_hydru)、T(r_hydru)分别为前、后轴液压制动扭矩。

[0107] 在制动时，前、后车轮同时接近抱死状态时，对路面附着利用以及制动时汽车方向稳定性较为有利。只要给定汽车的重量、质心位置便能做出理想制动力分配曲线，对于特定的车辆可通过制动器参数、轮胎半径、电机布置参数将制动力分配曲线转换为前、后轴等效制动扭矩分配曲线I，如图4所示。

[0108] I曲线上的任一点表示在某特定路面附着系数φ下，前、后轮同时达到最大附着力时前、后轴等效制动扭矩大小。例如：图4中a_{n-1}点表示车辆在路面附着系数$\varphi=\varphi_{n-1}$的路面上制动时，前轴等效制动扭矩等于T(f_n-1)，后轴等效制动扭矩等于T(r_n-1)时，车辆前、后轴制动附着力同时达到最佳效果。此时可计算出相应的理想制动力分配系数为：

[0109] $$K(\varphi_{n-1})=T(f_{n-1})/(T(f_{n-1})+T(r_{n-1}))$$

[0110] 因此，由I曲线可得到路面附着系数φ_m与理想制动力分配系数$K(\varphi_m)$的对应关系$\{(\varphi_m,\ K(\varphi_m))\}$，由此便得到一个一维表格，形成理想制动力分配系数表。

[0111] 步骤208：判断T_max(MotorBrake)≥T(Brake)是否成立，若是，执行步骤209；否则，执行步骤210。

[0112] 步骤209：确定T(f_hydru)=0，T(r_hydru)=0，前、后电机制动扭矩分别为：T(f_motor)=T(f_Brake)，T(r_motor)=T(r_Brake)，本流程结束。

[0113] T_max(MotorBrake)≥T(Brake)说明当前前、后电机制动扭矩满足驾驶员的制动需求扭矩，则无需施加前、后轴液压制动力。

[0114] 步骤210：计算液压补偿扭矩T(comp_hydru)：

[0115] T(comp_hydru)=T(Brake)-T_max(MotorBrake)

[0116] 则：

[0117] $$T(f_hydru)=T(comp_hydru)\times K(\varphi)$$

[0118] $$T(r_hydru)=T(comp_hydru)\times(1-K(\varphi))$$

[0119] 则：

[0120] $$T(f_Brake)=T(f_motor)+T(comp_hydru)\times K(\varphi)$$

[0121] $$T(r_Brake)=T(r_motor)+T(comp_hydru)\times(1-K(\varphi))$$

[0122] 则：

[0123] $$T(f_motor)=T(f_Brake)-T(comp_hydru)\times K(\varphi)$$

[0124] $$T(r_motor)=T(r_Brake)-T(comp_hydru)\times(1-K(\varphi))$$

[0125] T_max(MotorBrake)<T(Brake)说明当前前、后电机制动扭矩不满足驾驶员的制动扭矩需求，则需要液压支持，即需要施加液压补偿扭矩T(comp_hydru)，即此时需要采用电液复合制动。

[0126] 在实际应用中，为了降低前、后电机扭矩突变，可进一步对前、后电机的制动扭矩进行限值或滤波。滤波可采用一阶滤波，滤波公式如下：

[0127] y(t)=y(t-1)+k(x(t)-y(t-1))

[0128] k为滤波系数，x(t)为t时刻的滤波前的原始制动扭矩值，y(t-1)为t-1时刻的滤波后的制动扭矩值，y(t)为t时刻的滤波后的制动扭矩值。

[0129] 针对前、后电机，k的取值可不同，设分别为k(f)、k(r)。

[0130] 进一步地，根据车辆所处工况，对能量回收方式进行如下优化处理：

[0131] 一)当车辆处于向上坡度制动时，不进行能量回收。

[0132] 由于车辆处于向上坡度制动时，电池充电效率低，因此，此时不进行能量回收。具体地，在满足能量回收激活条件时，进一步判断车辆是否处于向上坡度制动，若处于，则不使能能量回收；或者，在能量回收过程中，若检测到车辆处于向上坡度制动，则停止能量回收。

[0133] 二)当车辆处于向下坡度制动时，使能能量回收。

[0134] 即车辆处于向下坡度制动，可以为一独立的能量激活条件。

[0135] 由于车辆的加速度在下坡行驶中比平地行驶中更大，因此此时应该进行能量回收。

[0136] 三)当车辆处于转弯制动时，不使能能量回收，即，若当前满足能量回收激活条件，则进一步判断车辆是否处于转弯制动，若处于，则不使能能量回收；

[0137] 若在能量回收过程中，车辆发生转弯制动，则对前、后电机制动扭矩进行滤波，具体地：

[0138] 若转弯的速度大于预设速度阈值或者转弯角度大于预设角度阈值，则对前电机制动扭矩进行快速滤波，对后电机制动扭矩进行慢速滤波。这里的快、慢速滤波可采用一阶滤波，滤波公式如下：

[0139] $y(t)=y(t-1)+k(x(t)-y(t-1))$

[0140] k为滤波系数，x(t)为t时刻的原始值，y(t-1)为t-1时刻的滤波后的值，y(t)为t时刻的滤波后的值。

[0141] 针对前、后电机，k的取值可不同，设分别为k(f)、k(r)，

[0142] 快速滤波时，增大k的取值；慢速滤波时，减少k的取值。

[0143] 本发明的有益技术效果如下：

[0144] 一)充分利用双电机在回馈制动方面的优势，能够根据不同的路面附着系数调节前、后轴制动力以适应当前液压压力变化，使得前、后轴制动力分配尽量地接近该车型的理想制动力分配曲线，充分提高制动效率，在增大制动扭矩的前提下保证了制动的平稳性。

[0145] 二)由于是前后双电机结构，因此液压制动单元可保持其默认的前、后制动力分配比例施加液压制动力，可通过电机制动扭矩快速调整达到目标制动力，对液压制动单元控制逻辑要求降低，对液压结构要求低，同时本发明提供的能量回收算法可以可靠、快速地移植到实时控制器中。

[0146] 三)根据不同工况实施前、后电机不同的制动能量回收分配方式能够最大化地提高各个电机工作效率，增强双电机驱动车辆对不同行驶环境的适应性。

[0147] 图5为本发明实施例提供的双轴双电机电动汽车的能量回收装置的组成示意图，该装置主要包括：能量回收激活判断模块51、整车最大可回收扭矩计算模块52、整车设计制动扭矩计算模块53和能量回收控制模块54，其中：

[0148] 能量回收激活判断模块51：用于判断电动汽车是否满足能量回收激活条件，若满

足，向整车最大可回收扭矩计算模块52、整车设计制动扭矩计算模块53发送能量回收激活指示。

[0149] 整车最大可回收扭矩计算模块52：接收能量回收激活判断模块51发来的能量回收激活指示，根据前、后电机的理论扭矩，计算整车最大可回收扭矩T_max(MotorBrake)，将T_max(MotorBrake)发送给能量回收控制模块54。

[0150] 整车设计制动扭矩计算模块53：接收能量回收激活判断模块51发来的能量回收激活指示，检测电动汽车的工况，若处于制动工况，则根据当前的路面附着系数，计算整车设计制动扭矩T(Brake)，将T(Brake)发送给能量回收控制模块54。

[0151] 能量回收控制模块54：接收整车最大可回收扭矩计算模块52发来的T_max(MotorBrake)，接收整车设计制动扭矩计算模块53发来的T(Brake)，若T_max(MotorBrake)≥T(Brake)，则不对前、后轴施加液压制动力，确定只对前、后电机施加制动力，若T_max(MotorBrake)<T(Brake)，则确定对前、后轴施加液压制动力，同时对前、后电机施加制动力。

[0152] 具体地，若T_max(MotorBrake)≥T(Brake)，能量回收控制模块54确定对前、后电机施加制动力包括：

[0153] 计算$T(f_motor)=K(\varphi)\times T(Brake)$和 $T(r_motor)=(1-K(\varphi))\times T(Brake)$

[0154] 其中，T(f_motor)为前电机的制动扭矩，T(r_motor)为后电机的制动扭矩，$K(\varphi)$为根据当前路由附着系数φ，查找电动汽车的理想制动力分配系数表，得到的电动汽车的前、后轴的理想制动力分配系数；

[0155] 确定根据T(f_motor)、T(r_motor)控制前、后电机产生制动扭矩，即向前电机控制模块发送T(f_motor)，向后电机控制模块发送T(r_motor)。

[0156] 具体地，若T_max(MotorBrake)<T(Brake)，能量回收控制模块54确定对前、后轴施加液压制动力，同时对前、后电机施加制动力包括：

[0157] 计算液压补偿扭矩T(comp_hydru)＝T(Brake)-T_max(MotorBrake)

[0158] 则$T(f_hydru)=T(comp_hydru)\times K(\varphi)$，$T(r_hydru)=T(comp_hydru)\times(1-K(\varphi))$

[0159] 则

[0160] $T(f_motor)=T(f_Brake)-T(comp_hydru)\times K(\varphi)$

[0161] $T(r_motor)=T(r_Brake)-T(comp_hydru)\times(1-K(\varphi))$

[0162] 确定根据T(f_hydru)、T(r_hydru)对前、后轴施加液压制动力，根据T(f_motor)、T(r_motor)控制前、后电机产生制动扭矩；即，向液压管理单元发送T(f_hydru)、T(r_hydru)，以使得液压管理单元根据T(f_hydru)、T(r_hydru)对前、后轴施加液压制动力，同时将T(f_motor)、T(r_motor)分别发送给前、后电机控制单元。

[0163] 其中，T(f_hydru)为前轴的液压制动扭矩，T(r_hydru)为后轴的液压制动扭矩，T(f_motor)为前电机的制动扭矩，T(r_motor)为后电机的制动扭矩，$K(\varphi)$为根据当前路由附着系数φ，查找电动汽车的理想制动力分配系数表，得到的电动汽车的前、后轴的理想制动力分配系数。

[0164] 具体应用中，能量回收激活判断模块51判断满足的能量回收激活条件为：

[0165] 电动汽车处于非上坡制动的制动工况；或者，

[0166] 电池剩余电量小于预设电量阈值;或者,

[0167] 车速大于预设车速阈值。

[0168] 具体应用中,能量回收控制模块54进一步包括:若电动汽车处于滑行工况,则控制后电机单独开启能量回收,且后电机的制动扭矩小于T_max(MotorBrake)*m。其中,m为小于1的正数,优选地,m=0.3。

[0169] 具体应用中,能量回收控制模块54进一步包括:对计算出的T(f_motor)、T(r_motor)进行限值或滤波,滤波可采用一阶滤波。

[0170] 具体应用中,能量回收控制模块54进一步包括:在制动能量回收过程中,若检测到电动汽车处于向上坡度制动,则确定停止能量回收;或者,在能量回收过程中,若电动汽车发生转弯制动,则确定对前电机制动扭矩进行快速滤波,对后电机制动扭矩进行慢速滤波。

[0171] 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,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明保护的范围之内。

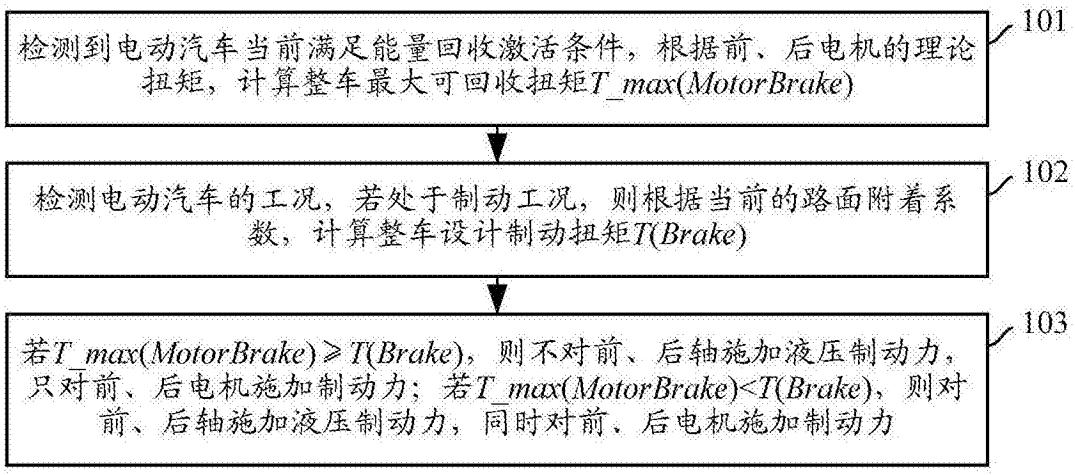

检测到电动汽车当前满足能量回收激活条件，根据前、后电机的理论扭矩，计算整车最大可回收扭矩T_max(MotorBrake)
101
检测电动汽车的工况，若处于制动工况，则根据当前的路面附着系数，计算整车设计制动扭矩T(Brake)
102
若T_max(MotorBrake)≥T(Brake)，则不对前、后轴施加液压制动力，只对前、后电机施加制动力；若T_max(MotorBrake)<T(Brake)，则对前、后轴施加液压制动力，同时对前、后电机施加制动力
103

图1

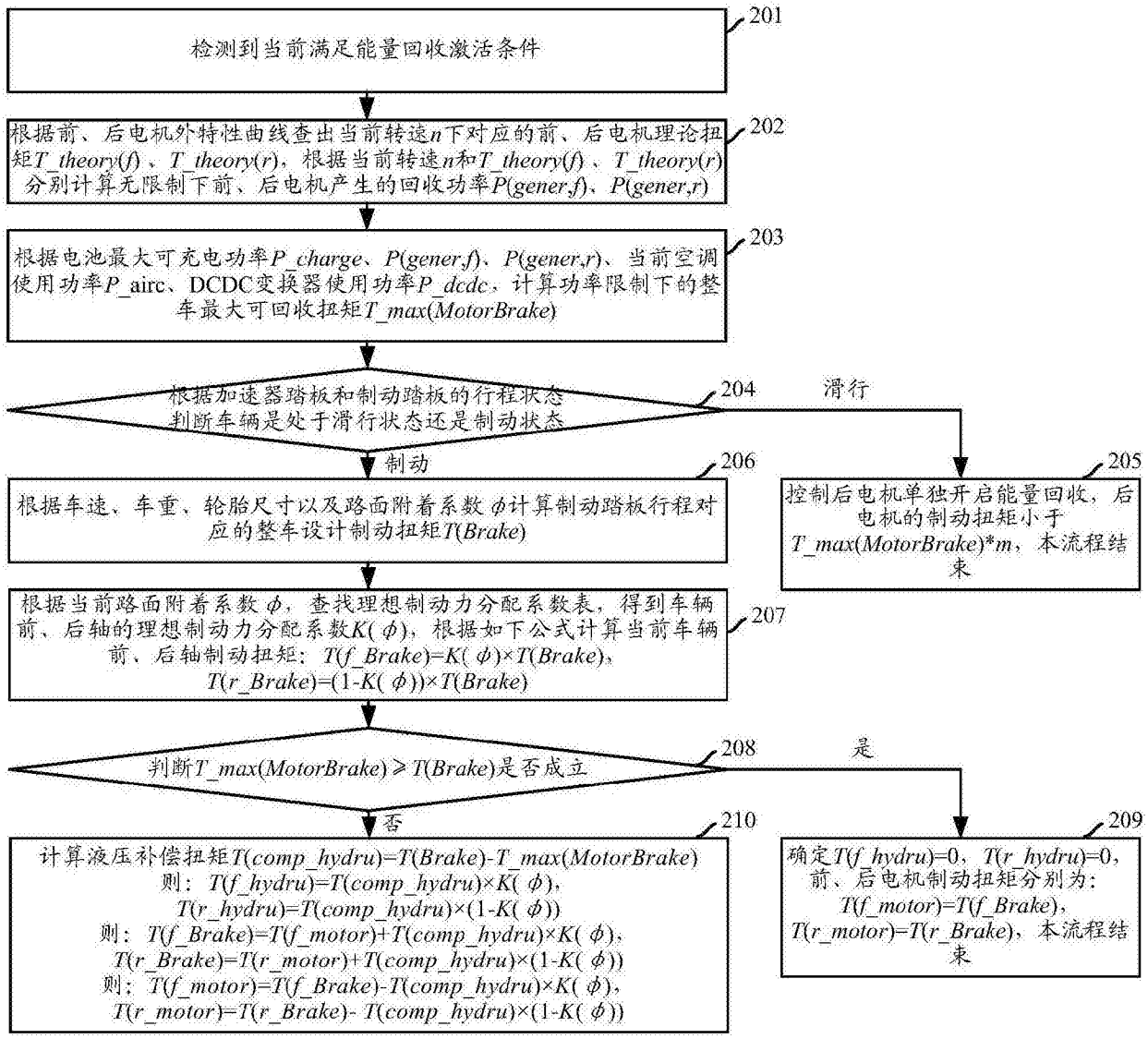

检测到当前满足能量回收激活条件
201
根据前、后电机外特性曲线查出当前转速n下对应的前、后电机理论扭矩T_theory(f)、T_theory(r)，根据当前转速n和T_theory(f)、T_theory(r)分别计算无限制下前、后电机产生的回收功率P(gener,f)、P(gener,r)
202
根据电池最大可充电功率P_charge、P(gener,f)、P(gener,r)、当前空调使用功率P_airc、DCDC变换器使用功率P_dcdc，计算功率限制下的整车最大可回收扭矩T_max(MotorBrake)
203
根据加速器踏板和制动踏板的行程状态判断车辆是处于滑行状态还是制动状态
204
滑行
制动
根据车速、车重、轮胎尺寸以及路面附着系数φ计算制动踏板行程对应的整车设计制动扭矩T(Brake)
206
控制后电机单独开启能量回收，后电机的制动扭矩小于T_max(MotorBrake)*m，本流程结束
205
根据当前路面附着系数φ，查找理想制动力分配系数表，得到车辆前、后轴的理想制动力分配系数K(φ)，根据如下公式计算当前车辆前、后轴制动扭矩：T(f_Brake)=K(φ)×T(Brake)，T(r_Brake)=(1-K(φ))×T(Brake)
207
判断T_max(MotorBrake)≥T(Brake)是否成立
208
是
否
计算液压补偿扭矩T(comp_hydru)=T(Brake)-T_max(MotorBrake)
则：T(f_hydru)=T(comp_hydru)×K(φ)，T(r_hydru)=T(comp_hydru)×(1-K(φ))
则：T(f_Brake)=T(f_motor)+T(comp_hydru)×K(φ)，T(r_Brake)=T(r_motor)+T(comp_hydru)×(1-K(φ))
则：T(f_motor)=T(f_Brake)-T(comp_hydru)×K(φ)，T(r_motor)=T(r_Brake)- T(comp_hydru)×(1-K(φ))
210
确定T(f_hydru)=0，T(r_hydru)=0，前、后电机制动扭矩分别为：T(f_motor)=T(f_Brake)，T(r_motor)=T(r_Brake)，本流程结束
209

图2

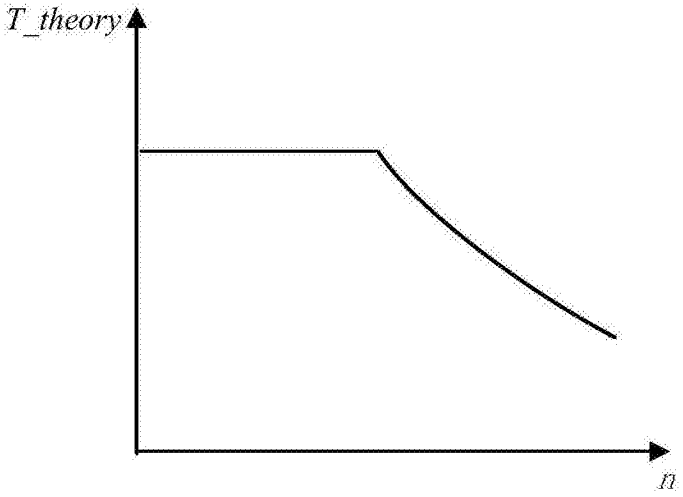

T_theory
n

图3

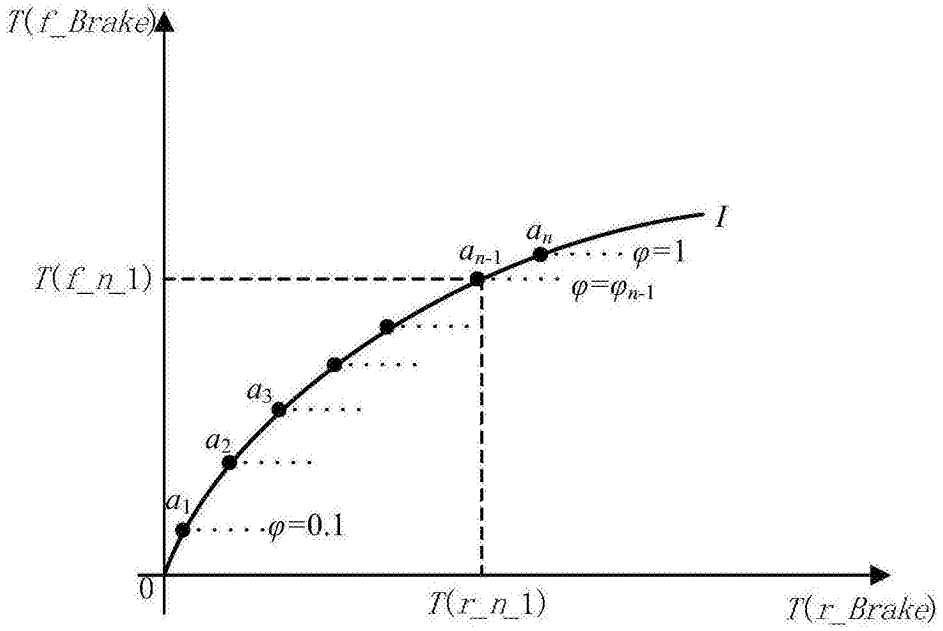

T(f_Brake)
T(f_n_1)
a1
a2
a3
an-1
an
I
φ=0.1
φ=1
φ=φn-1
0
T(r_n_1)
T(r_Brake)

图4

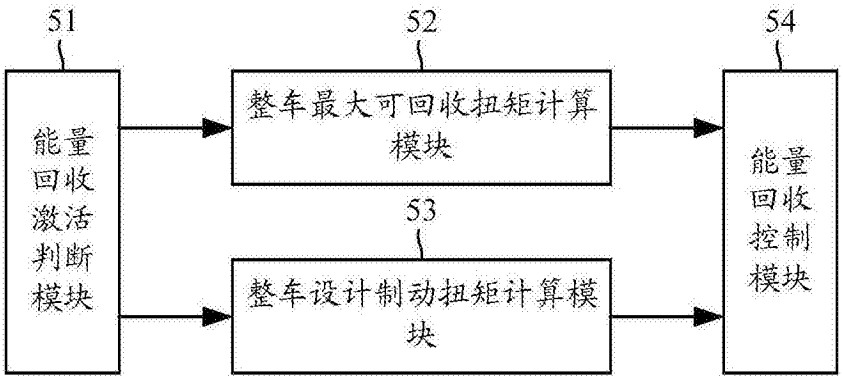

51
52
54
能量回收激活判断模块
整车最大可回收扭矩计算模块
53
整车设计制动扭矩计算模块
能量回收控制模块

图5