



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108622187 B

(45)授权公告日 2019.10.01

(21)申请号 201810438771.7

H02J 7/34(2006.01)

(22)申请日 2018.05.09

B62D 6/00(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

B62D 113/00(2006.01)

申请公布号 CN 108622187 A

B62D 119/00(2006.01)

B62D 101/00(2006.01)

(43)申请公布日 2018.10.09

(56)对比文件

(73)专利权人 江苏大学

CN 103818468 B,2017.08.22,全文.

地址 212013 江苏省镇江市京口区学府路301号

CN 103802821 A,2014.05.21,全文.

CN 103818329 A,2014.05.28,全文.

(72)发明人 唐斌 黄映秋 江浩斌 张迪

JP 2003320942 A,2003.11.11,全文.

袁朝春 蔡英凤 耿国庆 盘朝奉

JP 2007091045 A,2007.04.12,全文.

马世典 曹冬 尹晨辉

JP 2014121993 A,2014.07.03,全文.

US 2011199030 A1,2011.08.18,全文.

(51)Int.Cl.

审查员 赵玉霞

B62D 5/04(2006.01)

G06F 17/50(2006.01)

H02J 7/14(2006.01)

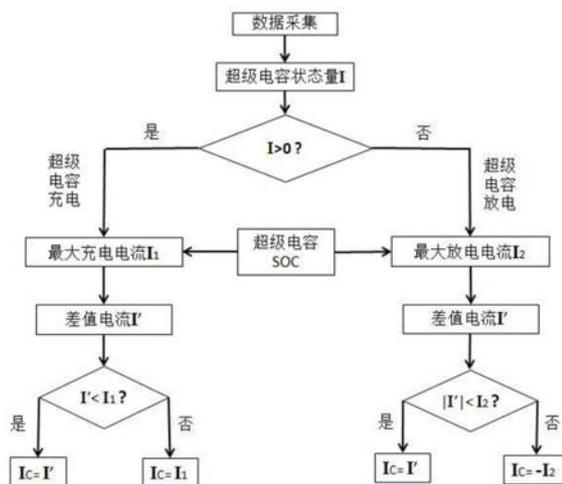
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

复合电源EPS的能量动态控制系统及方法

(57)摘要

本发明提供了一种复合电源EPS的能量动态控制系统及方法,首先采集整车电器(除转向电机和超级电容)的实时工作电流,通过当前方向盘转矩和车速计算转向电机目标电流,通过发电机的额定电流与上面两电流之和的差值,判断超级电容的充电、放电状态。超级电容充电时,通过对充电电流的动态调整,使发电机处于最优工作区间,并基于当前的超级电容SOC限制其最大充电电流;超级电容放电时,通过对放电电流的动态调整,使发电机处于最优工作区间,并基于当前超级电容的SOC限制最大放电电流。基于此方法设计的超级电容充放电控制策略在满足EPS使用功能的前提下,可以使发电机在任何工况下都处于或者尽量靠近其最优工作区间,从而提升能源转化效率,降低能源消耗。



1. 复合电源EPS的能量动态控制方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1:采集除转向电机和超级电容之外的整车用电器的实时用电电流 I_{EB} 及转向助力电机的目标助力电流 I_M ;

步骤2:通过计算发电机的额定电流 I_D 与 $(I_{EB}+I_M)$ 的差值 I ,判定超级电容的充电、放电状态;

步骤3:计算此时超级电容的SOC;

步骤3.1:通过超级电容的充电、放电试验测试,得到超级电容充满电时的最高电压值 V_{max} 和放完电的最低电压值 V_{min} ;

步骤3.2:在超级电容端添加电压采样电路,测量得到超级电容当前的电压值 V ;

步骤3.3:超级电容的SOC通过公式计算: $SOC = (V - V_{min}) / (V_{max} - V_{min})$;

步骤4:当超级电容处于充电或放电状态时,由相应状态时超级电容的SOC计算出最大充电电流 I_1 或最大放电电流 I_2 ;

所述最大充电电流 I_1 的计算方法为: $I_1 = (1 - SOC) * Q / T_{jmin}$,其中 T_{jmin} 为汽车两次极低速转向的最小时间间隔, Q 为超级电容的容量;所述最大放电电流 I_2 的计算方法为: $I_2 = (SOC - SOC') * Q / T_{max}$,其中 T_{max} 为汽车单次极低速转向的最长时间, SOC' 为保证超级电容性能而控制的超级电容放电的最低电量;

步骤5:计算发电机最优工作区的发电电流 I'_D 与 $(I_{EB}+I_M)$ 的差值,得到差值电流 I' ;所述发电机最优工作区的发电电流 I'_D 通过对发电机进行效率测试得到;

步骤6:计算超级电容的充电、放电电流 I_c ;

步骤6.1:当超级电容处于充电状态时,将差值电流 I' 和最大充电电流 I_1 比较:若差值电流 I' 小于等于最大充电电流 I_1 ,则超级电容充电电流 I_c 的值取为 I' ,否则 I_c 的值取为 I_1 ;

步骤6.2:当超级电容处于放电状态时,将差值电流 I' 和最大放电电流 I_2 比较:若差值电流 I' 的绝对值小于等于最大放电电流 I_2 ,则超级电容放电电流 I_c 的值取为 I' ,否则 I_c 的值取为 $-I_2$;

步骤7:由超级电容的充放电状态控制整车电源及超级电容工作状态。

2. 根据权利要求1所述的复合电源EPS的能量动态控制方法,其特征在于,所述步骤1中数据采集的方法如下:

步骤1.1:除转向电机和超级电容之外的整车用电器的实时用电电流 I_{EB} ,通过在发电机各供电支路添加电流采样电路采集并求和得到;

步骤1.2:转向控制器接收到方向盘的转矩 T 、转角信号 θ 和车速信号 V ,通过目标电流控制算法计算出当前转向电机的目标助力电流 I_M 。

3. 根据权利要求1所述的复合电源EPS的能量动态控制方法,其特征在于,所述步骤2具体为:

步骤2.1:通过发电机参数表查阅发电机的额定电流 I_D ;

步骤2.2:判定超级电容充电、放电状态:当差值 I 大于零时,转向控制器通过PWM调控DC-DC变换器进行升压,超级电容处于充电状态;当差值 I 小于等于零时,转向控制器通过PWM调控DC-DC变换器进行降压,超级电容处于放电状态。

4. 根据权利要求1所述的复合电源EPS的能量动态控制方法,其特征在于,所述整车电源及超级电容工作状态包括整车电源供电状态、整车电源及超级电容供电状态、超级电容

供电状态。

5. 根据权利要求1所述的复合电源EPS的能量动态控制方法的控制系统,其特征在于,包括转向控制器、方向盘转矩和转角传感器、DC-DC控制器、转向助力电机、循环球转向器及超级电容,所述方向盘转矩和转角传感器安装于转向管柱上,所述转向管柱底端连接循环球转向器,所述循环球转向器与转向助力电机啮合,所述方向盘转矩和转角传感器采集方向盘转矩和转角信号作为转向控制器的输入,转向控制器还采集车速信号、整车功率需求,执行相应的功率分配策略,从而控制DC-DC控制器及转向助力电机,DC-DC控制器控制超级电容充放电,转向助力电机输出转向助力至循环球转向器;转向控制器通过判定超级电容的充放电状态,由相应状态时超级电容的SOC计算出最大充电电流 I_1 或最大放电电流 I_2 ,当超级电容处于充电状态时,将差值电流 I' 和最大充电电流 I_1 比较:若差值电流 I' 小于等于最大充电电流 I_1 ,则超级电容充电电流 I_c 的值取为 I' ,否则 I_c 的值取为 I_1 ;当超级电容处于放电状态时,将差值电流 I' 和最大放电电流 I_2 比较:若差值电流 I' 的绝对值小于等于最大放电电流 I_2 ,则超级电容放电电流 I_c 的值取为 I' ,否则 I_c 的值取为 $-I_2$;由此控制整车电源及超级电容工作状态。

复合电源EPS的能量动态控制系统及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及汽车转向技术领域,尤其是用于商用车复合电源EPS的能量动态控制系统及方法。

背景技术

[0002] 近年来,电动助力转向系统(Electric Power Steering, EPS)以其安全、节能、环保的优点广泛应用于乘用车和轻型商用车。EPS通过电机提供转向助力,助力大小由软件程序控制,可以方便地实现随速可变助力特性,有助于提高车辆的操纵稳定性,同时非转向工况下几乎不消耗电能,极大降低了能源消耗。由于具有上述的优点,转向系统的电动化,即电动助力转向(EPS)将是转向系统发展的方向。

[0003] EPS已成功应用于轻型商用车,然而重型商用车前轴载荷大,所需的转向功率较大,整车电源系统无法满足转向功率的需求,因而限制了EPS在重型商用车领域的应用。因此,研究适用于重型商用车的EPS新方案并解决新方案存在的科学问题和技术难题,具有重要的研究价值和现实意义。

[0004] 超级电容作为一种新型的电源,具有充放电迅速,可实现大电流快速放电;动态性能好,循环效率高达90%~95%;控制简单、绿色环保等优点,因此,超级电容近年来较多的被用于发动机的启停辅助以及电动汽车的辅助电源等方面,以超级电容为辅助电源而构成的复合电源EPS的研究也在逐渐兴起。

[0005] 作为电动助力转向系统应用的有效解决方案,国内外有部分学者已经对由超级电容配合整车电源而构成的复合电源EPS做过相关的研究。中国专利(CN103003134B)提出了一种检测具有主电源和辅助电源的EPS电源输出故障的系统及方法,实现对EPS尺寸和成本的降低;中国专利(CN103818329B)提出了一种由主电源对超级电容充电,并在恶劣路况转向时超级电容配合主电源提供驱动电流的方法;专利(JP2003320942A)提出了一种利用电容作为辅助电源的复合电源的电动助力转向系统,在低速工况时提供助力,以此减小主电源的容量并提高系统的适应性;专利(JP2007223510A)提出了一种延长辅助电源的工作时间,并且可较为方便的进行控制的电动助力转向辅助电源控制设备。以上专利均没有从能量分配和系统工作效率方面,对复合电源电动助力转向系统的设计与控制方法进行设计与改进。

发明内容

[0006] 为了解决由于整车电源与超级电容能量调控不合理,导致转向助力不均衡和能源浪费的问题,本发明提供了一种复合电源EPS的能量动态控制系统及方法,针对运用超级电容的复合电源电动助力转向系统,以能量均衡和提升能源转化效率为出发点,进行了控制策略与方法的改进,通过对电流的动态控制,以达到高效、节能的目的,为基于复合电源的EPS在重型商用车上的应用提供了一种合理有效的解决方案。

[0007] 一种复合电源EPS的能量动态控制系统及方法,包括以下步骤:

[0008] 步骤1:采集整车用电器(除转向电机和超级电容)的实时用电电流 I_{EB} ,转向助力电机的目标助力电流 I_M ;

[0009] 步骤2:通过计算发电机额定电流 I_D 与 $(I_{EB}+I_M)$ 的差值 I ,判定超级电容的充电、放电状态;

[0010] 步骤3:计算出此时超级电容的SOC;

[0011] 步骤4:当超级电容处于充电状态时,由此时超级电容的SOC计算出最大充电电流 I_1 ;当超级电容处于放电状态时,由此时超级电容的SOC计算出最大放电电流 I_2 ;

[0012] 步骤5:通过计算发电机最优工作区的发电电流 I'_D 与 $(I_{EB}+I_M)$ 的差值,得到差值电流 I' ;

[0013] 步骤6:计算超级电容的充放电电流 I_C ;

[0014] 步骤7:控制整车电源及超级电容工作状态,包括整车电源供电状态或整车电源及超级电容供电状态或超级电容供电状态。

[0015] 进一步的,所述步骤1中整车用电器的实时用电电流 I_{EB} ,转向电机的目标助力电流 I_M 通过下述方法得到:

[0016] 步骤1.1:整车用电器(不包括转向电机和超级电容)的实时用电电流 I_{EB} ,可以通过在发电机各供电支路添加电流采样电路采集并求和得到;

[0017] 步骤1.2:电动助力转向系统控制器接收到方向盘的转矩 T 、转角信号 θ 和车速信号 V ,通过目标电流控制算法计算出当前转向电机的目标助力电流 I_M 。

[0018] 目标电流的控制算法为:

[0019] 构建电动助力转向系统的系统动力学模型,并在MATLAB/SIMULINK中进行模型的搭建;对系统模型输入不同的方向盘转矩、转角以及车速等工况条件,仿真得到对应行驶工况下输出的汽车转向阻力矩;汽车转向阻力矩减去不同工况下驾驶员的方向盘操作力矩,即为转向助力电机应当提供的助力力矩;由助力力矩结合电机的电磁转矩系数可计算得到电机的目标助力电流;由方向盘转矩、转角以及车速与目标助力电流的对应关系,构建不同行驶工况下的转向电机目标助力电流的计算函数: $I=f(T, \theta, V)$;在方向盘转矩转角以及车速已知的情况下,就可以通过该计算函数得到实时的目标助力电流。

[0020] 进一步的,所述步骤2中发电机额定电流 I_D 与 $(I_{EB}+I_M)$ 的差值 I 计算和超级电容充电、放电状态判定通过下述方法得到:

[0021] 步骤2.1:通过发电机参数表查阅发电机的额定电流 I_D ;

[0022] 步骤2.2:差值 I 的计算公式为:

$$[0023] \quad I = I_D - (I_{EB} + I_M)$$

[0024] 步骤2.3:超级电容充电、放电状态判定:当差值 I 大于零时,转向控制器通过PWM调控DC-DC变换器进行升压,超级电容处于充电状态;当差值 I 小于等于零时,转向控制器通过PWM调控DC-DC变换器进行降压,超级电容处于放电状态;

[0025] 进一步的,所述步骤3中超级电容的SOC通过下述方法得到:

[0026] 步骤3.1:通过超级电容的充电、放电试验测试,得到超级电容充满电时的最高电压值 V_{max} 和放完电的最低电压值 V_{min} ;

[0027] 步骤3.2:在超级电容端添加电压采样电路,测量得到超级电容当前的电压值 V ;

[0028] 步骤3.3:超级电容的SOC通过下式计算:

[0029] $SOC = (V - V_{min}) / (V_{max} - V_{min})$

[0030] 进一步的,所述步骤4中超级电容充电时的最大充电电流 I_1 和超级电容放电时最大放电电流 I_2 通过下述方法得到:

[0031] 步骤4.1:当超级电容处于充电状态时,若在两次极低速转向的最小间隔时间内把超级电容的电量充满,则可以通过下式计算得到超级电容的平均充电电流 I'_1 :

[0032] $SOC + (T_{jmin} * I'_1) / Q = 1$

[0033] 式中: T_{jmin} 为汽车两次极低速转向的最小时间间隔,通过汽车道路试验测试得到; Q 为所选用超级电容的容量。

[0034] 由上式计算得到的平均充电电流作为限制的超级电容最大充电电流,则最大充电电流 I_1 的计算公式如下:

[0035] $I_1 = (1 - SOC) * Q / T_{jmin}$

[0036] 步骤4.2:当超级电容处于放电状态时,为了使超级电容能够工作在高效区,超级电容的放电深度不能过大,选取 SOC' 作为超级电容的最低荷电状态。若在单次极低速转向的最长时间内,超级电容放电到了最低荷电状态,则可以通过下式计算得到超级电容的平均放电电流 I'_2 :

[0037] $SOC - (T_{max} * I'_2) / Q = SOC'$

[0038] 式中: T_{max} 为汽车单次极低速转向的最长时间,通过汽车道路试验测试得到; SOC' 为保证超级电容性能而控制的超级电容放电的最低电量; Q 为所选用超级电容的容量。

[0039] 由上式计算得到的平均放电电流作为限制的超级电容最大放电电流,则最大放电电流 I_2 的计算公式如下:

[0040] $I_2 = (SOC - SOC') * Q / T_{max}$

[0041] 进一步的,所述步骤5中差值电流 I' 的值通过下述方法得到:

[0042] 步骤5.1:发电机最优工作区的发电电流 I'_D 通过对发电机进行效率测试得到;

[0043] 步骤5.2:发电机最优工作区的发电电流 I'_D 与 $(I_{EB} + I_M)$ 的计算公式如下:

[0044] $I' = I'_D - (I_{EB} + I_M)$

[0045] 进一步,所述步骤6中超级电容的充放电电流通过下述方法得到:

[0046] 步骤6.1:当判定超级电容处于充电状态时,将通过上述步骤计算得到的差值电流 I' 和最大充电电流 I_1 做比较。若差值电流 I' 不超过此时的最大充电电流 I_1 ,则超级电容充电电流 I_c 的值取为 I' ,否则 I_c 的值取为 I_1 ;

[0047] 步骤6.2:当超级电容处于放电状态时,将通过上述步骤计算得到的差值电流 I' 和最大放电电流 I_2 做比较。若差值电流 I' 的绝对值不超过此时的最大放电电流 I_2 ,则超级电容放电电流 I_c 的值取为 I' ,否则 I_c 的值取为 $-I_2$ 。

[0048] 复合电源EPS的能量动态控制系统,包括转向控制器、方向盘转矩和转角传感器、DC-DC控制器、转向助力电机、循环球转向器及超级电容,所述方向盘转矩和转角传感器安装于转向管柱上,所述转向管柱底端连接循环球转向器,所述循环球转向器与转向助力电机啮合,所述方向盘转矩和转角传感器采集方向盘转矩和转角信号作为转向控制器的输入,转向控制器还采集车速信号、整车功率需求,执行相应的功率分配策略,从而控制DC-DC控制器及转向助力电机,DC-DC控制器控制超级电容充放电,转向助力电机输出转向助力至循环球转向器;转向控制器通过判定超级电容的充放电状态、计算超级电容的充放电电流,

控制整车电源及超级电容工作状态。

[0049] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:本发明的超级电容充电、放电控制策略,对超级电容的充电、放电状态和充电、放电电流的值进行动态调控,实现对发电机电流的高效分配利用,同时以此来削弱由于转向电机功率需求波动而造成的整车用电器的功率波动,在满足EPS使用功能的前提下,可以使发电机在任何工况下都处于或者尽量靠近其最优工作区间,从而提升能源转化效率,降低能源消耗。

附图说明

[0050] 图1为复合电源EPS的能量动态控制系统结构示意图;

[0051] 图2为复合电源DC-DC控制原理图;

[0052] 图3为整车能量流示意图;

[0053] 图4为超级电容充放电电流动态控制流程图。

具体实施方式

[0054] 下面结合附图以及具体实施例对本发明做进一步的说明,但本发明的保护范围并不限于此。

[0055] 图1为复合电源EPS的能量动态控制系统结构示意图,包括转向控制器、方向盘转矩和转角传感器、DC-DC控制器、转向助力电机、循环球转向器、整车电源及超级电容,方向盘转矩和转角传感器安装于转向管柱上,转向管柱顶端固定有方向盘,转向管柱底端连接循环球转向器,循环球转向器通过铰链机构与车轮铰链,循环球转向器还与转向助力电机啮合,方向盘转矩和转角传感器采集方向盘转矩和转角信号、车速传感器采集车速信号,均作为转向控制器的输入,转向控制器还采集整车功率需求,制定分配控制策略,从而控制DC-DC控制器及转向助力电机,DC-DC控制器控制超级电容充放电,转向助力电机输出转向助力至循环球转向器,实现整车的转向;转向控制器、DC-DC控制器均与整车电源相连,整车电源与超级电容共同为转向助力电机供电。

[0056] 驾驶员转动方向盘时,转矩和转角传感器采集到转矩和转角信号并发送到转向控制器,转向控制器同时会采集车速、整车功率信号,通过目标电流控制算法,就可以确定转向电机的目标助力电流;转向控制器对DC-DC控制器进行调控,便可使超级电容和整车电源在不同工况下相复合,输出合适的电流到转向助力电机,从而推动循环球转向器工作。

[0057] 图2为复合电源DC-DC控制原理图,超级电容等效数学模型、双向半桥DC-DC变换器、转向电机、整车电源依次并联,超级电容的等效数学模型如左框图所示,其中漏电流电阻EPR表征超级电容器的漏电流效应,等效串联电阻ESR为影响超级电容长期储能的参数,C为超级电容的电容特性,EPR与C并联后与ESR串联;中间框图所示为双向半桥DC-DC变换器,变换器由电容与绝缘栅双极型晶体管串联后与另一个绝缘栅双极型晶体管并联,最后再串联一个电感构成;超级电容通过双向半桥DC-DC变换器与整车电源并联,共同为转向电机供电。转向控制器检测到不同驾驶工况下整车用电器、转向电机和超级电容的功率需求,制定相应的功率分配策略,发送到控制电路。电感电流采样电路和超级电容电压采样电路分别检测到超级电容实时的电流值与电压值,发送到控制电路,控制电路结合转向控制器发送过来的控制信号,通过PWM电路对DC-DC变换器进行调控,从而实现对超级电容充放电电流

动态控制的目的。

[0058] 功率分配策略为:当车速较低时,整车电源和超级电容共同为转向电机提供转向功率,转向控制器根据车速、方向盘转角等信号决定整车电源和超级电容提供转向功率的方式和比例;当车速较高时,整车电源单独为电机提供转向功率,同时超级电容作为电源系统的负载,处于充电状态,存储的能量以备低速转向时使用;当整车电源发生故障时,超级电容单独为电机提供转向功率,维持短时间的转向助力;即复合电源EPS具有三种供电模式:复合电源供电模式、整车电源供电模式和超级电容供电模式。

[0059] 图3为整车能量流示意图,将发电机发出的整车电源分为三部分:第一部分用于对整车用电器(除转向电机和超级电容)进行供电,本实施例将整车用电器(除转向电机和超级电容)作为一个整体考虑;第二部分用于对超级电容进行充电;第三部分用于对转向电机进行供电。

[0060] 图4为超级电容充放电电流动态控制原理流程图,即复合电源EPS的超级电容充放电电流的动态控制方法,包括以下步骤:

[0061] 步骤1:采集整车用电器的实时用电电流 I_{EB} ,转向电机的目标助力电流 I_M ;整车用电器的实时用电电流 I_{EB} ,转向电机的目标助力电流 I_M 通过下述方法得到:

[0062] 步骤1.1:整车用电器(不包括转向电机和超级电容)的实时用电电流 I_{EB} ,可以通过在发电机各供电支路添加电流采样电路采集并求和得到;

[0063] 步骤1.2:转向控制器接收到方向盘的转矩 T 、转角信号 θ 和车速信号 V ,通过目标电流控制算法计算出当前转向电机的目标助力电流 I_M 。

[0064] 步骤1.3:目标电流的控制算法为:

[0065] 步骤1.3.1:构建电动助力转向系统的系统动力学模型,并在MATLAB/SIMULINK中进行模型的搭建;

[0066] 步骤1.3.2:对系统模型输入不同的方向盘转矩、转角以及车速等工况条件,仿真得到对应行驶工况下输出的汽车转向阻力矩;

[0067] 步骤1.3.3:汽车转向阻力矩减去不同工况下驾驶员的方向盘操作力矩,即为转向助力电机应当提供的助力力矩;

[0068] 步骤1.3.4:由助力力矩,结合电机的电磁转矩系数可计算得到电机的目标助力电流;

[0069] 步骤1.3.5:由步骤1.3.2-1.3.4得到的方向盘转矩、转角以及车速与目标助力电流的对应关系,构建不同行驶工况下的转向电机目标助力电流的计算函数: $I=f(T, \theta, V)$;

[0070] 步骤1.3.6:在方向盘转矩转角以及车速已知的情况下,就可以通过该计算函数得到实时的目标助力电流。

[0071] 步骤2:转向控制器通过计算发电机额定电流 I_D 与 $(I_{EB}+I_M)$ 的差值 I ,判定超级电容的充电、放电状态;

[0072] 判断超级电容充电、放电状态判定通过下述方法得到:

[0073] 步骤2.1:发电机的额定电流 I_D 为发电机的出厂原始参数,可以根据电机说明书查到;

[0074] 步骤2.2:差值 I 的计算公式为:

[0075] $I = I_D - (I_{EB} + I_M)$ (1)

[0076] 步骤2.3:超级电容充电、放电状态判定:当差值I大于零时,控制超级电容处于充电状态;当差值I小于等于零时,控制超级电容处于放电状态。

[0077] 步骤3:计算出此时超级电容的SOC;

[0078] 步骤3.1:通过超级电容的充电、放电试验测试,得到超级电容充满电时的最高电压值 V_{\max} 和放完电的最低电压值 V_{\min} ;

[0079] 步骤3.2:在超级电容端添加电压采样电路,测量得到超级电容当前的电压值V;

[0080] 步骤3.3:超级电容的SOC通过下式计算:

$$[0081] \quad \text{SOC} = (V - V_{\min}) / (V_{\max} - V_{\min}) \quad (2)$$

[0082] 步骤4:当超级电容处于充电状态时,由充电状态时超级电容的SOC计算出最大充电电流 I_1 ;当超级电容处于放电状态时,由放电状态时超级电容的SOC计算出最大放电电流 I_2 ;

[0083] 步骤4.1:当超级电容处于充电状态时,若在两次极低速转向的最小间隔时间内把超级电容的电量充满,则可以通过下式计算得到超级电容的平均充电电流 I'_1 :

$$[0084] \quad \text{SOC} + (T_{\text{jmin}} * I'_1) / Q = 1 \quad (3)$$

[0085] 式中: T_{jmin} 为汽车两次极低速转向的最小时间间隔,通过汽车道路试验测试得到;Q为所选用超级电容的容量;

[0086] 为了能充分的发挥超级电容对整车用电器功率波动的补偿作用,更长时间的保证发电机处于或者靠近最优工作区间,超级电容的充电功率不应该过大,即要限制超级电容的充电电流;本实施例选取由式(3)计算得到的平均充电电流作为限制的超级电容最大充电电流,则最大充电电流 I_1 的计算公式如下:

$$[0087] \quad I_1 = (1 - \text{SOC}) * Q / T_{\text{jmin}} \quad (4)$$

[0088] 步骤4.2:当超级电容处于放电状态时,为了使超级电容能够工作在高效区,超级电容的放电深度不能过大,选取SOC'作为超级电容的最低荷电状态;若在单次极低速转向的最长时间内,超级电容放电到了最低荷电状态,则可以通过下式计算得到超级电容的平均放电电流 I'_2 :

$$[0089] \quad \text{SOC} - (T_{\text{max}} * I'_2) / Q = \text{SOC}' \quad (5)$$

[0090] 式中: T_{max} 为汽车单次极低速转向的最长时间,通过汽车道路试验测试得到;SOC'为保证超级电容性能而控制的超级电容放电的最低电量;

[0091] 为了满足EPS的使用性能要求,同时充分的发挥超级电容对整车用电器功率波动的补偿作用,使发电机能够更长时间处于或者靠近最优工作区间,超级电容的放电功率不能过大,即要限制超级电容的放电电流;选取由式(5)计算得到的平均放电电流作为限制的超级电容最大放电电流,则最大放电电流 I_2 的计算公式如下:

$$[0092] \quad I_2 = (\text{SOC} - \text{SOC}') * Q / T_{\text{max}} \quad (6)$$

[0093] 步骤5:转向控制器通过发电机最优工作区的发电电流 I'_D 与 $(I_{\text{EB}} + I_{\text{M}})$ 的差值,得到差值电流 I' ;

[0094] 步骤5.1:发电机最优工作区的发电电流 I'_D 通过对发电机进行效率测试得到;

[0095] 步骤5.2:发电机最优工作区的发电电流 I'_D 与 $(I_{\text{EB}} + I_{\text{M}})$ 的差值计算公式如下:

$$[0096] \quad I' = I'_D - (I_{\text{EB}} + I_{\text{M}}) \quad (7)$$

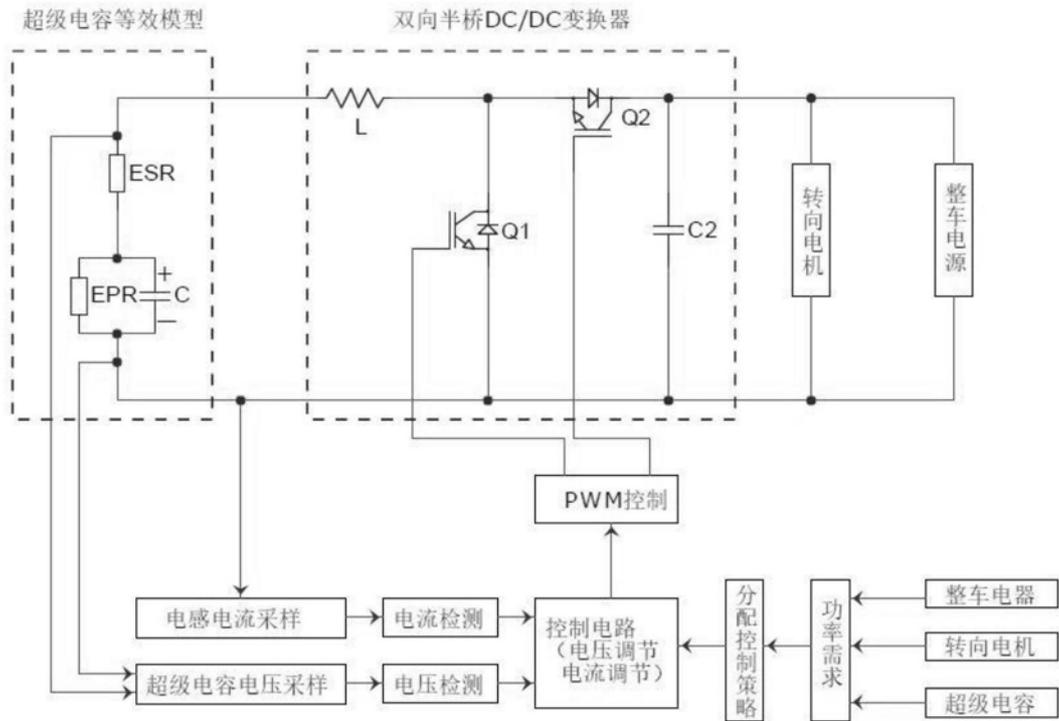
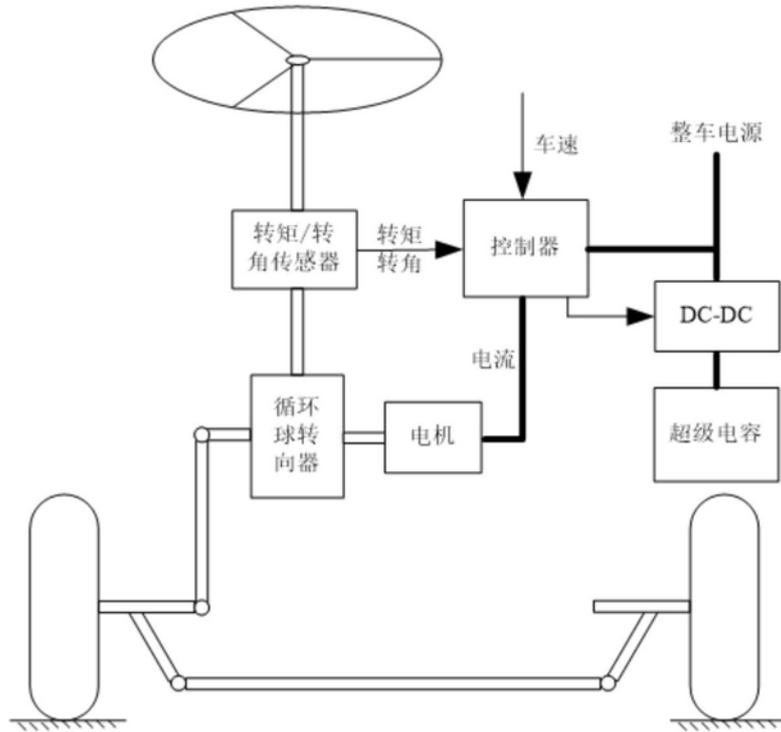
[0097] 步骤6:转向控制器计算超级电容的充放电电流 I_C ;

[0098] 步骤6.1:当判定超级电容处于充电状态时,将通过步骤5计算得到的差值电流 I' 和最大充电电流 I_1 做比较:若差值电流 I' 不超过此时的最大充电电流 I_1 ,则超级电容充电电流 I_c 的值取为 I' ,否则 I_c 的值取为 I_1 ;

[0099] 步骤6.2:当超级电容处于放电状态时,将通过步骤5计算得到的差值电流 I' 和最大放电电流 I_2 做比较;若差值电流 I' 的绝对值不超过此时的最大放电电流 I_2 ,则超级电容放电电流 I_c 的值取为 I' ,否则 I_c 的值取为 $-I_2$ 。

[0100] 步骤7:控制整车电源及超级电容工作在由超级电容的充放电状态决定的供电状态:当超级电容充电时,整车电源供电;当超级电容放电时,整车电源及超级电容一起供电,即复合电源供电,且上述两种供电方式中超级电容的工作电流由步骤6确定;若整车电源故障时,超级电容单独供电。

[0101] 所述实施例为本发明的优选的实施方式,但本发明并不限于上述实施方式,在不背离本发明的实质内容的前提下,本领域技术人员能够做出的任何显而易见的改进、替换或变型均属于本发明的保护范围。



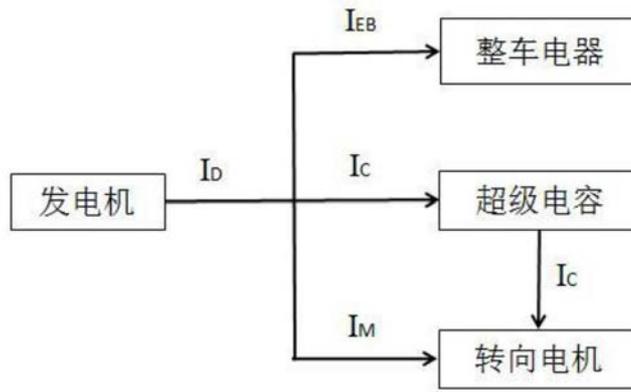


图3

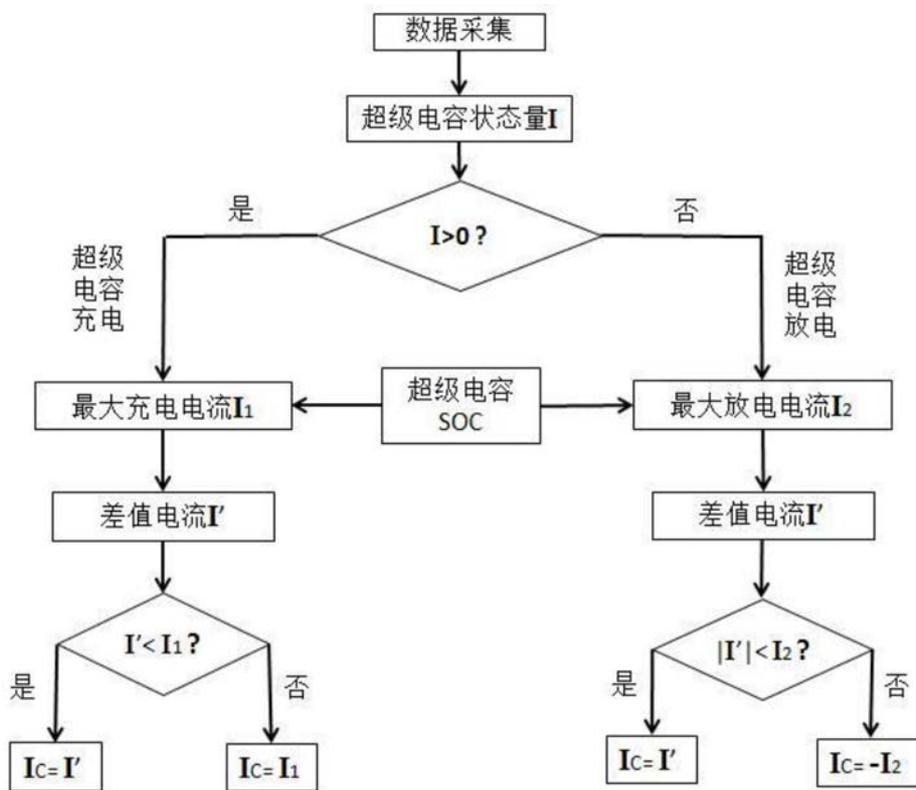


图4