



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106208113 A

(43)申请公布日 2016.12.07

(21)申请号 201610547090.5

(22)申请日 2016.07.12

(71)申请人 上海电力学院

地址 200090 上海市杨浦区平凉路2103号

(72)发明人 李辉 黄瑶妹 彭道刚 夏飞

马飞

(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 宣慧兰

(51) Int. Cl.

H02J 3/28(2006.01)

H02J 3/32(2006.01)

H02J 7/34(2006.01)

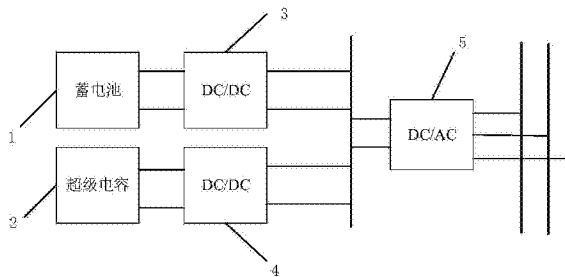
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

一种基于荷电状态的混合储能分层协调控制方法

(57)摘要

本发明涉及一种基于荷电状态的混合储能分层协调控制方法,用于含混合储能单元的微电网的控制,混合储能单元包括蓄电池和超级电容,蓄电池和超级电容分别通过DC/DC变换器连接至直流母线,直流母线通过DC/AC变换器连接至微电网交流母线,该方法包括如下步骤:获取微电网交流母线电压、交流母线频率和混合储能单元综合荷电状态进行上层功率优化控制得到DC/AC变换器的输出功率指令,进而控制DC/AC变换器工作;获取直流母线电压,以稳定直流母线电压为目标进行下层功率分配,分别得到蓄电池和超级电容的充放电功率指令,进而控制相应的DC/DC变换器工作。与现有技术相比,本发明能够有效防止混合储能电池的过充或过放。



1. 一种基于荷电状态的混合储能分层协调控制方法,用于含混合储能单元的微电网的控制,所述的混合储能单元包括蓄电池和超级电容,所述的蓄电池和超级电容分别通过DC/DC变换器连接至直流母线,直流母线通过DC/AC变换器连接至微电网交流母线,其特征在于,该方法包括如下步骤:

(1)获取微电网交流母线电压 U 、交流母线频率 f 和混合储能单元综合荷电状态 SOC_{HESS} ,根据 U 、 f 和 SOC_{HESS} 进行上层功率优化控制得到DC/AC变换器的输出功率指令,进而控制DC/AC变换器工作;

(2)获取直流母线电压 V_{dc} ,以稳定直流母线电压为目标进行下层功率分配,分别得到蓄电池和超级电容的充放电功率指令,进而控制相应的DC/DC变换器工作。

2. 根据权利要求1所述的一种基于荷电状态的混合储能分层协调控制方法,其特征在于,步骤(1)中上层功率优化控制具体通过模糊逻辑算法得到,具体包括:

(101)将交流母线频率 f 与交流母线额定频率 f_{ref} 的偏差经PI调节得到有功功率缺额值 P_{ref} ,同时将交流母线电压 U 与交流母线的额定电压 U_{ref} 的偏差经PI调节得到无功功率缺额值 Q_{ref} ;

(102)将混合储能单元综合荷电状态 SOC_{HESS} 和有功功率缺额值 P_{ref} 作为输入通过模糊控制算法得到有功功率修正值 ΔP ,同时将混合储能单元综合荷电状态 SOC_{HESS} 和无功功率缺额值 Q_{ref} 作为输入经过模糊控制算法得到无功功率修正值 ΔQ ;

(103)对有功功率缺额值 P_{ref} 和有功功率修正值 ΔP 求和得到DC/AC变换器的输出有功功率指令 P'_{ref} ,对无功功率缺额值 Q_{ref} 和无功功率修正值 ΔQ 求和得到DC/AC变换器的输出无功功率指令 Q'_{ref} 。

3. 根据权利要求1所述的一种基于荷电状态的混合储能分层协调控制方法,其特征在于,所述的混合储能单元综合荷电状态 SOC_{HESS} 通过下式获得:

$$SOC_{HESS} = \frac{Q_{VRLAB} \cdot SOC_{VRLAB} + Q_{SC} \cdot SOC_{SC}}{Q_{VRLAB} + Q_{SC}};$$

其中, Q_{VRLAB} 、 Q_{SC} 分别为蓄电池和超级电容的额定容量, SOC_{VRLAB} 、 SOC_{SC} 分别为蓄电池和超级电容的荷电状态。

4. 根据权利要求1所述的一种基于荷电状态的混合储能分层协调控制方法,其特征在于,所述的步骤(2)具体包括:

(201)将直流母线额定电压 V_{ref} 与直流母线电压 V_{dc} 的偏差经PI调节得到混合储能单元的充放电功率 P_{HESS} ;

(202)将混合储能单元的充放电功率 P_{HESS} 通过低通滤波器滤波得到低频分量并作为蓄电池充放电功率指令 P_{bat} ,同时将高频分量作为超级电容充放电功率指令 P_{sc} 。

5. 根据权利要求4所述的一种基于荷电状态的混合储能分层协调控制方法,其特征在于,得到蓄电池充放电功率指令 P_{bat} 和超级电容充放电功率指令 P_{sc} 后还需要对其进行修正,具体为:

(a)根据下式求取充当电修正功率 $\Delta P'$:

$$\Delta P' = (SOC_{sc} - SOC_{QVAR}) \times |P_{HESS}| \times \beta,$$

其中, SOC_{VRLAB} 、 Q_{SC} 分别为蓄电池和超级电容的荷电状态, P_{HESS} 为混合储能单元的充放电功率, β 为修正系数, β 取值范围为1.1~1.3;

(b)计算蓄电池充放电功率指令修正值 P'_{bat} : $P'_{bat}=P_{bat}+\Delta P'$,计算超级电容充放电功率指令修正值 P'_{sc} : $P'_{sc}=P_{sc}-\Delta P'$;

进而将蓄电池充放电功率指令修正值 P'_{bat} 作为蓄电池充放电功率指令,将超级电容充放电功率指令修正值 P'_{sc} 作为超级电容充放电功率指令,从而控制相应的DC/DC变换器工作。

一种基于荷电状态的混合储能分层协调控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种混合储能控制方法,尤其是涉及一种基于荷电状态的混合储能分层协调控制方法。

背景技术

[0002] 近年来,随着可再生能源的快速发展,人们对微电网可靠性、稳定性提出了更高的要求。为了改善微电网系统中的功率平衡、稳定性和电能质量等问题,配备输出功率更为稳定的储能装置是抑制功率脉动的有效手段之一,储能系统具有在短时间内快速吸收和释放能量的特点,因此可以有效地克服可再生能源输出功率间歇性、波动性的缺点。为了弥补传统单一储能设备的不足,采用功率型超级电容器和能量型蓄电池的混合储能单元是目前储能技术的发展方向之一,超级电容器具有响应速度快、大功率输出能力强、能量转换效率高、循环寿命长等特点,是典型的功率型储能器件。超级电容器与蓄电池协调运行可以大幅度提高储能装置的峰值功率输入输出能力,降低内部损耗,减小蓄电池的充放电次数,从而提高设备的使用寿命。因此将混合储能应用于可再生电源系统,具有较大的技术经济优势。

[0003] 目前很多研究学者在混合储能控制技术方面已有重要成果。ASAO T提出采用低通滤波的方法补偿风电功率中的特定频段分量,但由于未考虑储能设备的荷电状态(SOC),容易造成设备过充过放。

发明内容

[0004] 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基于荷电状态的混合储能分层协调控制方法。

[0005] 本发明的目的可以通过以下技术方案来实现:

[0006] 一种基于荷电状态的混合储能分层协调控制方法,用于含混合储能单元的微电网的控制,所述的混合储能单元包括蓄电池和超级电容,所述的蓄电池和超级电容分别通过DC/DC变换器连接至直流母线,直流母线通过DC/AC变换器连接至微电网交流母线,该方法包括如下步骤:

[0007] (1)获取微电网交流母线电压 U 、交流母线频率 f 和混合储能单元综合荷电状态 $SOCH_{ESS}$,根据 U 、 f 和 $SOCH_{ESS}$ 进行上层功率优化控制得到DC/AC变换器的输出功率指令,进而控制DC/AC变换器工作;

[0008] (2)获取直流母线电压 V_{dc} ,以稳定直流母线电压为目标进行下层功率分配,分别得到蓄电池和超级电容的充放电功率指令,进而控制相应的DC/DC变换器工作。

[0009] 步骤(1)中上层功率优化控制具体通过模糊逻辑算法得到,具体包括:

[0010] (101)将交流母线频率 f 与交流母线额定频率 f_{ref} 的偏差经PI调节得到有功功率缺额值 P_{ref} ,同时将交流母线电压 U 与交流母线的额定电压 U_{ref} 的偏差经PI调节得到无功功率缺额值 Q_{ref} ;

[0011] (102)将混合储能单元综合荷电状态 $SOCH_{ESS}$ 和有功功率缺额值 P_{ref} 作为输入通过

模糊控制算法得到有功功率修正值 ΔP , 同时将混合储能单元综合荷电状态 SOC_{HESS} 和无功功率缺额值 Q_{ref} 作为输入经过模糊控制算法得到无功功率修正值 ΔQ ;

[0012] (103) 对有功功率缺额值 P_{ref} 和有功功率修正值 ΔP 求和得到 DC/AC 变换器的输出有功功率指令 P'_{ref} , 对无功功率缺额值 Q_{ref} 和无功功率修正值 ΔQ 求和得到 DC/AC 变换器的输出无功功率指令 Q'_{ref} 。

[0013] 所述的混合储能单元综合荷电状态 SOC_{HESS} 通过下式获得:

$$[0014] \quad SOC_{HESS} = \frac{Q_{VRLAB} \cdot SOC_{VRLAB} + Q_{SC} \cdot SOC_{SC}}{Q_{VRLAB} + Q_{SC}};$$

[0015] 其中, Q_{VRLAB} 、 Q_{SC} 分别为蓄电池和超级电容的额定容量, SOC_{VRLAB} 、 SOC_{SC} 分别为蓄电池和超级电容的荷电状态。

[0016] 所述的步骤(2)具体包括:

[0017] (201) 将直流母线额定电压 V_{ref} 与直流母线电压 V_{dc} 的偏差经 PI 调节得到混合储能单元的充放电功率 P_{HESS} ;

[0018] (202) 将混合储能单元的充放电功率 P_{HESS} 通过低通滤波器滤波得到低频分量并作为蓄电池充放电功率指令 P_{bat} , 同时将高频分量作为超级电容充放电功率指令 P_{sc} 。

[0019] 得到蓄电池充放电功率指令 P_{bat} 和超级电容充放电功率指令 P_{sc} 后还需要对其进行修正, 具体为:

[0020] (a) 根据下式求取充当电修正功率 $\Delta P'$:

$$[0021] \quad \Delta P' = (SOC_{sc} - SOC_{QVAR}) \times |P_{HESS}| \times \beta,$$

[0022] 其中, SOC_{VRLAB} 、 Q_{SC} 分别为蓄电池和超级电容的荷电状态, P_{HESS} 为混合储能单元的充放电功率, β 为修正系数, β 取值范围为 1.1~1.3;

[0023] (b) 计算蓄电池充放电功率指令修正值 P'_{bat} : $P'_{bat} = P_{bat} + \Delta P'$, 计算超级电容充放电功率指令修正值 P'_{sc} : $P'_{sc} = P_{sc} - \Delta P'$;

[0024] 进而将蓄电池充放电功率指令修正值 P'_{bat} 作为蓄电池充放电功率指令, 将超级电容充放电功率指令修正值 P'_{sc} 作为超级电容充放电功率指令, 从而控制相应的 DC/DC 变换器工作。

[0025] 与现有技术相比, 本发明具有如下优点:

[0026] (1) 本发明进行上层功率优化控制时考虑到了混合储能单元综合荷电状态 SOC_{HESS} , 从而在稳定交流母线电压和频率的同时保证了混合储能单元的过充或过放, 保证了储能系统的安全性;

[0027] (2) 本发明的下层功率分配通过低通滤波器滤波方式将高频功率分配给超级电容, 低频功率分配给蓄电池, 极大地发挥了蓄电池和超级电容两种储能元件的优势;

[0028] (3) 本发明在进行下层功率分配的还通过蓄电池和超级电容的荷电状态进行功率修正, 当两储能元件的荷电状态比较接近时, 修正功率 $\Delta P'$ 取值比较小, 即所做的功率修正比较小, 当两储能元件的荷电状态相差比较大时, 修正功率 $\Delta P'$ 的取值比较大, 即所做的功率修正就比较大, 从而使得两种储能元件的荷电状态相对保持一个平衡状态, 防止某一个储能元件发生过充或过放现象, 延长储能元件的寿命。

附图说明

- [0029] 图1为含混合储能单元的微电网的结构框图；
 [0030] 图2为上层功率优化控制的控制框图；
 [0031] 图3为下层功率分配的控制框图；
 [0032] 图4为混合储能单元综合荷电状态SOC_{HESS}的曲线对比图；
 [0033] 图5为超级电容荷电状态SOC_{SC}的曲线对比图；
 [0034] 图6为蓄电池荷电状态SOC_{VRLAB}的曲线对比图；
 [0035] 其中1为蓄电池,2为超级电容,3为第一DC/DC变换器,4为第二DC/DC变换器,5为DC/AC变换器。

具体实施方式

[0036] 下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细说明。

[0037] 实施例

[0038] 一种基于荷电状态的混合储能分层协调控制方法,用于含混合储能单元的微电网的控制,如图1所示为含混合储能单元的微电网的结构框图,混合储能单元包括蓄电池1和超级电容2,蓄电池1和超级电容2分别通过DC/DC变换器连接至直流母线,即图中第一DC/DC变换器3和第二DC/DC变换器4,直流母线通过DC/AC变换器5连接至微电网交流母线,其中蓄电池1采用磷酸铁锂电池。

[0039] 本发明基于荷电状态的混合储能分层协调控制方法包括如下步骤:

[0040] (1)获取微电网交流母线电压U、交流母线频率f和混合储能单元综合荷电状态SOC_{HESS},根据U、f和SOC_{HESS}进行上层功率优化控制得到DC/AC变换器的输出功率指令,进而控制DC/AC变换器工作;

[0041] (2)获取直流母线电压V_{dc},以稳定直流母线电压为目标进行下层功率分配,分别得到蓄电池和超级电容的充放电功率指令,进而控制相应的DC/DC变换器工作。

[0042] 步骤(1)中上层功率优化控制具体通过模糊逻辑算法得到,具体流程框图如图2所示:

[0043] 首先,将交流母线频率f与交流母线额定频率f_{ref}的偏差经PI调节得到有功功率缺额值P_{ref},同时将交流母线电压U与交流母线的额定电压U_{ref}的偏差经PI调节得到无功功率缺额值Q_{ref};

[0044] 其次,将混合储能单元综合荷电状态SOC_{HESS}和有功功率缺额值P_{ref}作为输入通过模糊控制算法得到有功功率修正值ΔP,同时将混合储能单元综合荷电状态SOC_{HESS}和无功功率缺额值Q_{ref}作为输入经过模糊控制算法得到无功功率修正值ΔQ,混合储能单元综合荷电状态SOC_{HESS}通过下式获得:

$$[0045] \quad SOC_{HESS} = \frac{Q_{VRLAB} \cdot SOC_{VRLAB} + Q_{SC} \cdot SOC_{SC}}{Q_{VRLAB} + Q_{SC}};$$

[0046] 其中,Q_{VRLAB}、Q_{SC}分别为蓄电池和超级电容的额定容量,SOC_{VRLAB}、Q_{SC}分别为蓄电池和超级电容的荷电状态。

[0047] 为了便于区分混合储能单元的运行状态,根据混合储能单元SOC_{HESS}大小,将混合储能单元划分为7个工作状态,因为在混合储能单元中磷酸铁锂电池的容量比超级电容器大,且超级电容的荷电状态工作区间为0.1~1,磷酸铁锂电池的荷电状态工作区间为0.2~

0.9,在这里选取磷酸铁锂电池的荷电状态工作区间近似作为混合储能单元的荷电状态工作区间,即混合储能单元的荷电状态工作区间为0.2~0.9。划分的工作状态如下所示:

[0048] A.当SOC_{HESS}在0.4~0.7之间运行时,称为最优状态区域,混合储能单元在此区间内既有足够的电量可以进行放电操作,也有足够的剩余容量进行充电操作,这种情况下不需要对PI控制器输出的有功功率缺额值 P_{ref} 和无功功率缺额值 Q_{ref} 进行修正,将其直接其作为储能系统的功率指令。

[0049] B.当SOC_{HESS}在0.7~0.8或0.3~0.4之间运行时,称为次优状态区域,此时混合储能单元存在过充或过放的可能。以SOC_{HESS}在0.7~0.8为例,此时混合储能单元存在过充的可能,如果混合储能单元正从微电网交流侧吸收功率,此时应减少混合储能单元吸收能量,即放弃对微电网中部分不平衡功率的补偿。

[0050] C.当SOC_{HESS}处于0.8~0.9或0.2~0.3之间时,称为警戒状态区域,此时混合储能单元已经逼近过充或过放的边界线。以SOC_{HESS}在0.8~0.9为例,此时混合储能单元已经逼近过充的边界,如果继续从微电网吸收功率,会导致混合储能单元出现过充,此时应放弃对微电网不平衡功率的补偿,并选择合适的时机使混合储能单元进入放电状态。

[0051] D.当SOC_{HESS}低于0.2或高于0.9,此时混合储能单元已完全进入报警状态区域,以SOC_{HESS}高于0.9为例,如果此时混合储能单元正从微电网吸收能量,应立即将混合储能单元从充电状态转换为放电状态,直至SOC_{HESS}低于0.9,转换到警戒状态区域。

[0052] 根据混合储能的工作状态以及给出的相应的操作制定模糊规则,需要设计第一模糊控制器和第二模糊控制器,以修正有功功率为例,即设计第一模糊控制器,该模糊控制器采用两输入-单输出的二维模糊控制结构,下面介绍对输入、输出变量进行模糊化运算的过程。

[0053] 输入E1:混合储能单元SOC_{HESS},其变化范围(基本论域)为[0,100%],模糊论域为{-3,-2,-1,0,1,2,3},对应的模糊子集为{"负大(NB)", "负中(NM)", "负小(NS)", "零(ZO)", "正小(PS)", "正中(PM)", "正大(PB)"},分别表示当前混合储能单元所处的工作状态:过放电状态、电量很低状态、电量偏低状态、电量正常状态、电量偏高状态、电量很高状态、过充电状态。

[0054] 输入E2:PI控制器输出的有功功率指令 P_{ref} ,其取值范围受混合储能单元额定充放电功率的限制,本文中选定混合储能单元的额定有功功率为10kW,从而其取值范围为-10kW~10kW,即基本论域为[-10,10],模糊论域为{-3,-2,-1,0,1,2,3},对应的模糊子集为{"负大(NB)", "负中(NM)", "负小(NS)", "零(ZO)", "正小(PS)", "正中(PM)", "正大(PB)"},分别表示混合储能单元指令功率值正负及大小:充电功率值很大、充电功率值中等、充电功率值很小、不充电不放电、放电功率值很小、放电功率值中等、放电功率值很大。

[0055] 输出U:有功功率修正值 ΔP ,其取值范围受制于PI控制器有功功率指令的取值范围,为了能够在电池SOC过低时,转换电池的充放电状态, ΔP 的范围应比有功功率指令稍大,考虑到 P_{ref} 的取值范围, ΔP 取-12kW~12kW,即基本论域为[-12,12]。模糊论域为{-3,-2,-1,0,1,2,3},对应的模糊子集为{"负大(NB)", "负中(NM)", "负小(NS)", "零(ZO)", "正小(PS)", "正中(PM)", "正大(PB)"},分别对应修正功率 ΔP 负大、负中、负小、零、正小、正中、正大。

[0056] 根据前面介绍的SOC_{HESS}和 P_{ref} 与修正值 ΔP 之间的关系,其控制规则如表1所示。

[0057] 表1 模糊控制规则

		E1						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
[0058] E2	NB	ZO	ZO	PS	ZO	PM	PB	PBB
	NM	ZO	ZO	ZO	ZO	PS	PM	PB
	NS	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	PS	PM
	ZO	NS	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	PS
	PS	NM	NS	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO
	PM	NB	NM	NS	ZO	ZO	ZO	ZO
	PB	NB	NB	NM	ZO	NS	ZO	ZO

[0059] 基于相同的修正规律,无功功率的模糊控制规则与表1相同,且PI控制器输出的无功功率缺额值 Q_{ref} 的范围为 $-5\text{kvar}\sim 5\text{kvar}$,无功功率修正值 ΔQ 的范围为 $-6\text{kvar}\sim 6\text{kvar}$ 。

[0060] 最后,对有功功率缺额值 P_{ref} 和有功功率修正值 ΔP 求和得到DC/AC变换器的输出有功功率指令 P'_{ref} ,对无功功率缺额值 Q_{ref} 和无功功率修正值 ΔQ 求和得到DC/AC变换器的输出无功功率指令 Q'_{ref} 。

[0061] 如图3所示为下层功率分配的控制框图,步骤(2)包括如下步骤:

[0062] (201)将直流母线额定电压 V_{ref} 与直流母线电压 V_{dc} 的偏差经PI调节得到混合储能单元的充放电功率 P_{HESS} ;

[0063] (202)将混合储能单元的充放电功率 P_{HESS} 通过低通滤波器滤波得到低频分量并作为蓄电池充放电功率指令 P_{bat} ,同时将高频分量作为超级电容充放电功率指令 P_{sc} 。

[0064] 得到蓄电池充放电功率指令 P_{bat} 和超级电容充放电功率指令 P_{sc} 后还需要对其进行修正,具体为:

[0065] (a)根据下式求取充当电修正功率 $\Delta P'$:

$$[0066] \quad \Delta P' = (\text{SOC}_{sc} - \text{SOC}_{QVAR}) \times |P_{HESS}| \times \beta,$$

[0067] 其中, SOC_{VRLAB} 、 Q_{SC} 分别为蓄电池和超级电容的荷电状态, P_{HESS} 为混合储能单元的充放电功率, β 为修正系数, β 取值范围为 $1.1\sim 1.3$;

[0068] (b)计算蓄电池充放电功率指令修正值 P'_{bat} : $P'_{bat} = P_{bat} + \Delta P'$,计算超级电容充放电功率指令修正值 P'_{sc} : $P'_{sc} = P_{sc} - \Delta P'$;

[0069] 进而将蓄电池充放电功率指令修正值 P'_{bat} 作为蓄电池充放电功率指令,将超级电容充放电功率指令修正值 P'_{sc} 作为超级电容充放电功率指令,从而控制相应的DC/DC变换器工作。

[0070] 本实施例采用基于荷电状态的混合储能分层协调控制方法进行以及采用普通的低通滤波算法的混合储能单元充放电分配策略进行对比实验。图4所示为混合储能单元综合荷电状态 SOC_{HESS} 的曲线对比图,图中曲线a1为本发明的基于荷电状态的混合储能分层协调控制方法的混合储能单元综合荷电状态 SOC_{HESS} 曲线,曲线a2为普通低通滤波算法的混合储能单元综合荷电状态 SOC_{HESS} 曲线,由图可见,本发明的基于荷电状态的混合储能分层协调控制方法的混合储能单元综合荷电状态 SOC_{HESS} 变化范围控制在 $0.2\sim 0.8$ 之间,维持在合理范围之内,有效防止了混合储能单元的过充或过放。图5为超级电容荷电状态 SOC_{sc} 的曲线对比图,图中曲线b1为本发明控制方法下超级电容荷电状态 SOC_{sc} 曲线,曲线b2为普通控制方法下超级电容荷电状态 Q_{sc} 曲线。图6为蓄电池荷电状态 SOC_{VRLAB} 的曲线对比图,图中曲线

c1为本发明控制方法下蓄电池荷电状态 SOC_{VRLAB} 曲线,曲线c2为普通控制方法下蓄电池荷电状态 SOC_{VRLAB} 曲线。由图5图6可知,采用本发明的控制方法下,超级电容器和蓄电池的荷电状态在整个过程中变化范围小了许多,如超级电容荷电状态 Q_{SC} 变化范围是0.25~0.68,蓄电池荷电状态 SOC_{VRLAB} 变化范围是0.25~0.78,不存在过充或过放。

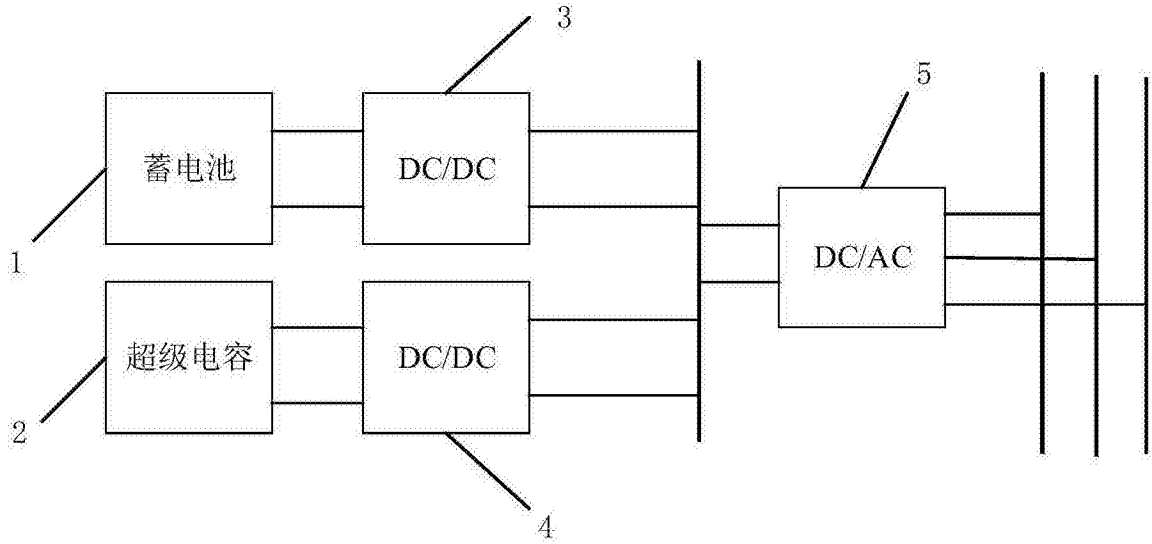


图1

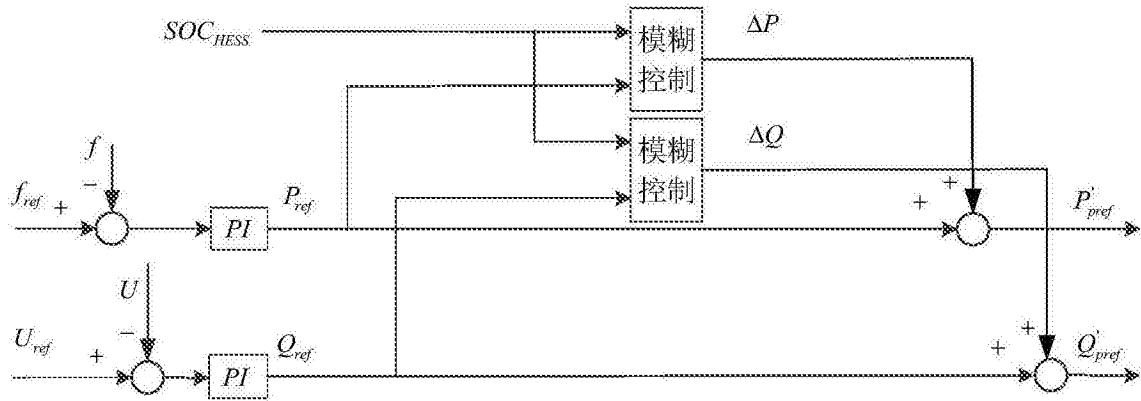


图2

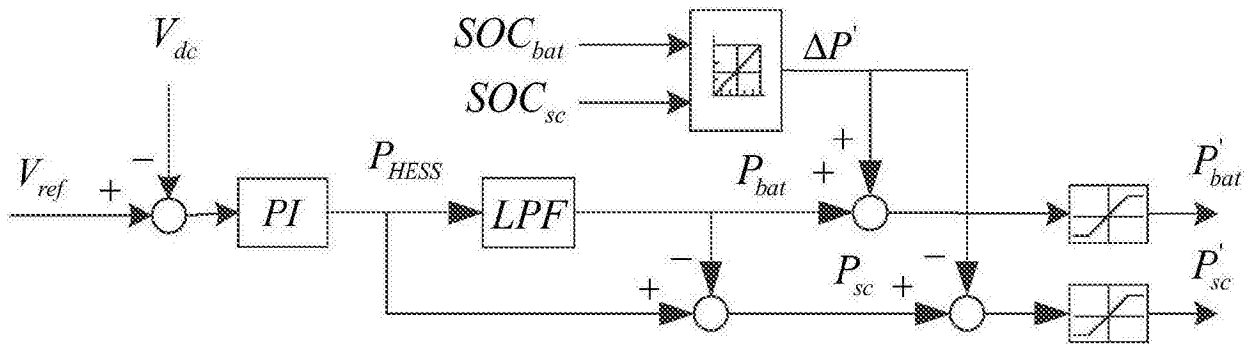


图3

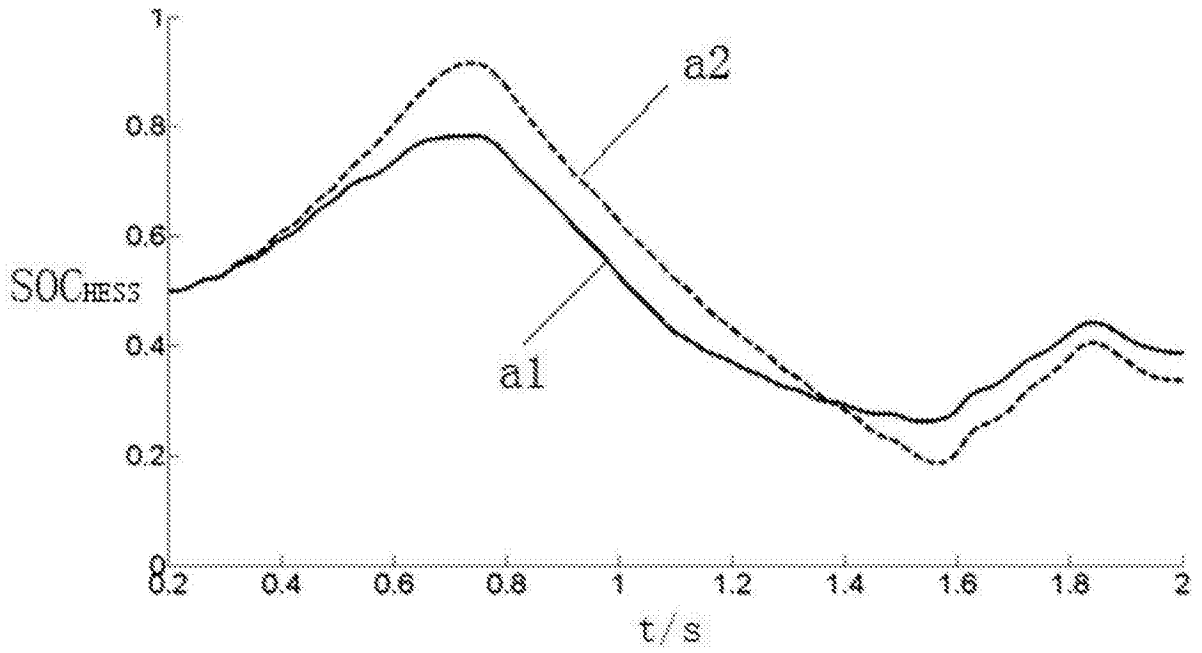


图4

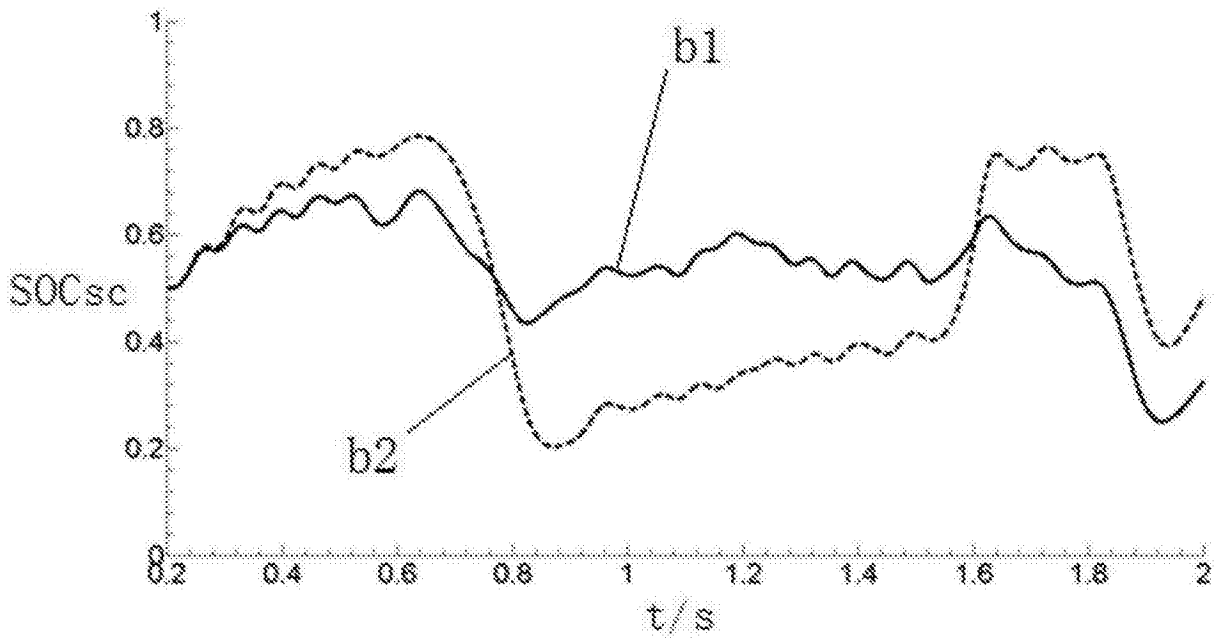


图5

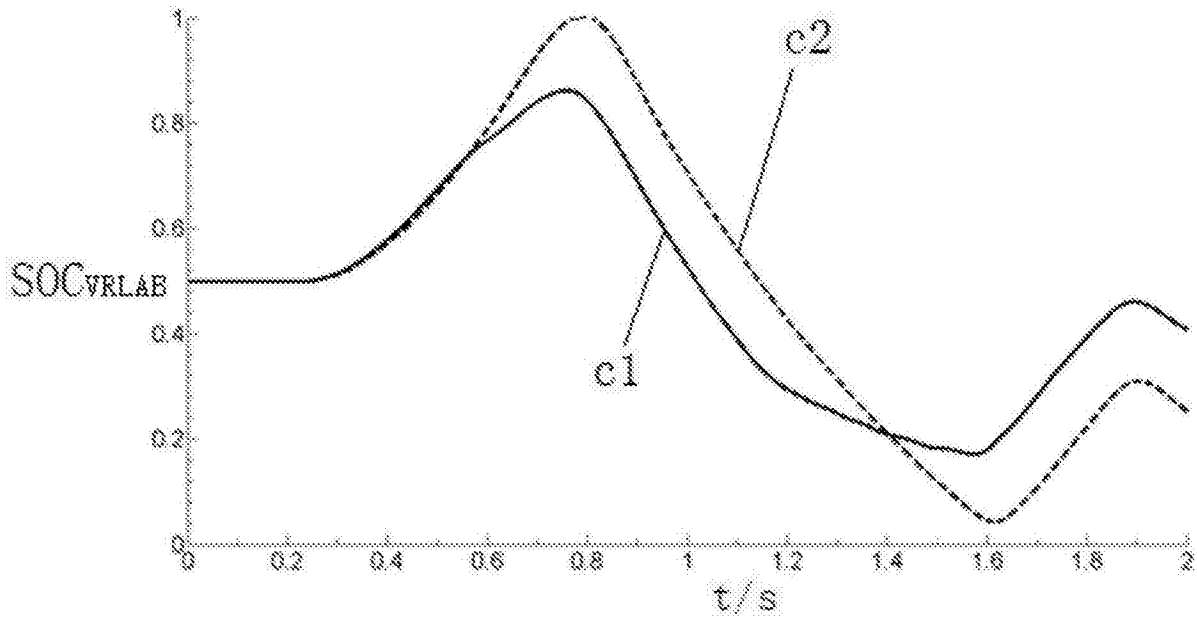


图6