



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107222013 A
(43)申请公布日 2017.09.29

(21)申请号 201710530656.8

(22)申请日 2017.07.03

(71)申请人 太原理工大学

地址 030024 山西省太原市迎泽西大街79号

(72)发明人 李岚 牛浩明 刘海霞 柴伦 李冰

(74)专利代理机构 太原科卫专利事务所(普通合伙) 14100

代理人 朱源

(51)Int.Cl.

H02J 7/35(2006.01)

H02J 7/34(2006.01)

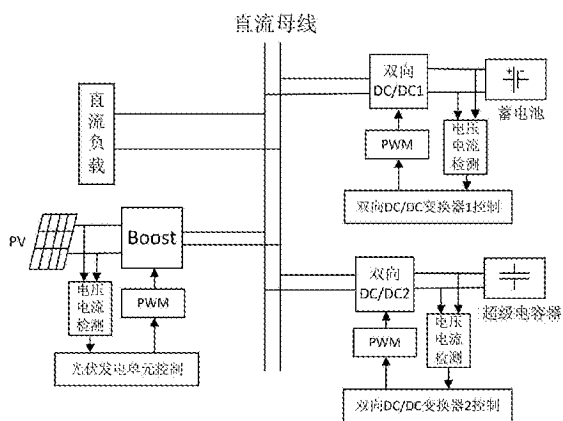
权利要求书2页 说明书6页 附图5页

(54)发明名称

独立光伏混合储能系统能量控制方法

(57)摘要

本发明公开了一种独立光伏混合储能系统能量控制方法,此混合储能系统包括蓄电池、超级电容器、光伏发电单元直流母线以及直流负载,蓄电池和超级电容器通过各自的双向DC/DC变换器并联连接于直流母线上,光伏发电单元通过BOOST变换器连接于直流母线上,采集数据后通过能量控制处理器计算混合储能系统应承担功率,再将此功率通过一阶低通滤波器,并经过限值控制方法,根据不同区间的限值控制方法,使混合储能系统在不同的控制条件下,实现蓄电池和超级电容器的功率分配,维持直流母线的稳定,有效平抑了光伏输出功率波动,维持系统内功率平衡,同时在一定程度上优化了储能设备的工作过程,延长了储能设备的使用周期。



1. 一种独立光伏混合储能系统能量控制方法,其特征在于:一个独立光伏混合储能系统,包括蓄电池、超级电容器、光伏发电单元、直流母线以及直流负载,所述蓄电池和超级电容器分别通过各自的双向DC/DC变换器连接于直流母线,所述光伏发电单元通过BOOST变换器连接于直流母线;所述双向DC/DC变换器与所述BOOST变换器均由能量控制处理器控制,该光伏混合储能系统能量控制方法包括以下步骤:

一、计算混合储能系统承担功率 P_{HESS} :

①采集直流母线电压 u_{dc} , C_{dc} 为已知固定直流储能电容,应用上位机计算维持母线电压稳定所需功率 P_{dc} :

$$P_{dc} = C_{dc} u_{dc} \frac{du_{dc}}{dt};$$

②应用上位机采集直流负载功率 P_{load} ,应用光伏发电单元两端的电压电流检测模块采集光伏发电功率 P_{pv} ;

③将采集到的功率数据输入能量控制处理器,计算储能系统承担功率 P_{HESS} ,

$$P_{HESS} = P_{dc} + P_{load} - P_{pv}$$

二、根据计算得出的 P_{HESS} 来分配蓄电池与超级电容器的功率:

①由于 $P_{HESS} = P_{bat} + P_{sc}$, P_{bat} 表示蓄电池吸收/释放功率; P_{sc} 表示为超级电容器吸收/释放功率;将功率 P_{HESS} 经过能量控制处理器的一阶低通滤波器,得到蓄电池和超级电容器的参考功率分别为:

$$P_{bat_ref} = \frac{1}{1+Ts} P_{HESS}$$

$$P_{sc_ref} = \frac{Ts}{1+Ts} P_{HESS}$$

其中, s 为微分算子; T 为滤波时间常数;

②通过蓄电池和超级电容器各自两端的电压电流检测模块采集荷电值SOC,输入能量控制处理器,根据二者的SOC进行限值控制,得到蓄电池和超级电容器的功率分配方式,其中 SOC_{sc} 表示超级电容器的实际荷电值, SOC_{bat} 表示蓄电池的实际荷电值; SOC_{sc_high} 、 SOC_{sc_low} 表示超级电容器的过度充电警戒值和过度放电警戒值; SOC_{sc_max} 、 SOC_{sc_min} 分别表示超级电容器荷电状态的上限与下限; SOC_{bat_max} 、 SOC_{bat_min} 分别表示蓄电池荷电状态的上限与下限,设定 T_0 为初始滤波时间常数, T_0 由需要平抑的光伏波动频率决定, ΔT 为滤波时间常数 T 的增量,经过限值管理后的滤波时间常数为 $T = T_0 + \Delta T$;设定 T_d 为 ΔT 最大变化范围, $0 < T_d \leq T_0$, ΔT 的控制如下:

a. 当 $SOC_{sc} < SOC_{sc_min}$ 时,超级电容器限制放电,只允许充电,若 $P_{sc_ref} < 0$,则 $\Delta T = T_d$;若 $P_{sc_ref} > 0$,禁止超级电容器放电,由蓄电池承担所有输出功率,即 $P_{bat_ref} = P_{HESS}$;

b. 当 $SOC_{sc_min} < SOC_{sc} < SOC_{sc_low}$ 时,使超级电容器减少放电量,增加充电量,减缓超级电容器 SOC_{sc} 的下降;若 $P_{sc_ref} < 0$,则 $\Delta T = \frac{SOC_{sc} - SOC_{sc_low}}{SOC_{sc_min} - SOC_{sc_low}} T_d$;若 $P_{sc_ref} > 0$,则

$$\Delta T = -\frac{SOC_{sc} - SOC_{sc_low}}{SOC_{sc_min} - SOC_{sc_low}} T_d ;$$

c. 当 $SOC_{sc_low} < SOC_{sc} < SOC_{sc_high}$ 时,超级电容器与蓄电池的输出不做调整,即 $\Delta T = 0$;

d. 当 $SOC_{sc_high} < SOC_{sc} < SOC_{sc_max}$ 时,使超级电容器增加放电量,减少充电量,减缓超级

电容器SOC_{sc}的上升;若P_{sc_ref}<0,则 $\Delta T = -\frac{SOC_{sc} - SOC_{sc_high}}{SOC_{sc_max} - SOC_{sc_high}} T_d$;若P_{sc_ref}>0,则

$$\Delta T = \frac{SOC_{sc} - SOC_{sc_high}}{SOC_{sc_max} - SOC_{sc_high}} T_d;$$

e. 当SOC_{sc}>SOC_{sc_max}时,超级电容器限制充电,只允许放电,若P_{sc_ref}<0,禁止超级电容器充电,由蓄电池承担所有吸收功率,即P_{bat_ref}=P_{HESS};若P_{sc_ref}>0,则 $\Delta T = T_d$;

f. 当蓄电池充电至SOC_{bat}>SOC_{bat_max}时,光伏发电单元通过BOOST变换器的输出功率由MPPT模式进入恒压模式,对蓄电池进行浮充;

g. 当蓄电池放电至SOC_{bat}<SOC_{bat_min}时,减少负载,使负载功率与光伏发电单元通过BOOST变换器的输出功率相匹配,光伏发电单元的功率输出为MPPT模式;对储能系统进行限制放电,蓄电池停止工作,超级电容器也停止工作。

2. 根据权利要求1所述的一种独立光伏混合储能系统能量控制方法,其特征在于:初始滤波时间常数T₀=50。

独立光伏混合储能系统能量控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及光伏发电微电网储能系统技术领域,具体为一种独立光伏混合储能系统能量控制方法,适用于光伏发电微电网中,稳定直流母线电压。

背景技术

[0002] 光伏发电输出功率具有间歇性、随机性和波动性,为实现计划功率的并网运行,需要对光伏输出的功率进行有效控制。如仅通过光伏发电系统自身的调整会降低其功率利用率,也限制了能源利用的灵活性。为提高光伏发电系统的运行能力,需利用储能系统对光伏输出功率进行平滑控制,进而满足并网运行要求。由于铅酸蓄电池的高能量密度与经济性等原因,在储能系统中有广泛的应用。然而,蓄电池功率密度低,使用寿命短,不适合大功率充放电。超级电容器相比蓄电池有更高的功率密度与循环寿命,与蓄电池在性能上具有互补性。因此在光伏发电中,将此两种储能装置作为混合储能系统,缺乏一种混合储能系统的能量控制方法,能充分利用两者的优点,使系统获得良好性能。

发明内容

[0003] 本发明是为了解决光伏发电微网缺乏混合储能系统能量控制方法的问题,在考虑储能设备荷电状态的基础上,提供了一种混合储能系统的能量控制方法,对光伏输出功率平滑控制。

[0004] 本发明是通过如下技术方案来实现的:一种独立光伏混合储能系统能量控制方法,该独立光伏混合储能系统包括蓄电池、超级电容器、光伏发电单元、直流母线以及直流负载,所述蓄电池和超级电容器分别通过各自的双向DC/DC变换器连接于直流母线,所述光伏发电单元通过BOOST变换器连接于直流母线;所述双向DC/DC变换器与BOOST变换器均由能量控制处理器控制,该光伏混合储能系统能量控制方法包括以下步骤:

[0005] 一、计算混合储能系统承担功率 P_{HESS} :

[0006] ①采集直流母线电压 U_{dc} , C_{dc} 为已知固定直流储能电容,应用上位机计算维持母线电压稳定所需功率 P_{dc} :

$$[0007] \quad P_{\text{dc}} = C_{\text{dc}} u_{\text{dc}} \frac{du_{\text{dc}}}{dt};$$

[0008] ②应用上位机采集直流负载功率 P_{load} ,应用光伏发电单元两端的电压电流检测模块采集光伏发电功率 P_{pv} ;

[0009] ③将采集到的功率数据输入能量控制处理器,计算储能系统承担功率 P_{HESS} ,

$$[0010] \quad P_{\text{HESS}} = P_{\text{dc}} + P_{\text{load}} - P_{\text{pv}}$$

[0011] 二、根据计算得出的 P_{HESS} 来分配蓄电池与超级电容器的功率:

[0012] ①由于 $P_{\text{HESS}} = P_{\text{bat}} + P_{\text{sc}}$, P_{bat} 表示蓄电池吸收/释放功率; P_{sc} 表示为超级电容器吸收/释放功率;将功率 P_{HESS} 经过能量控制处理器的一阶低通滤波器,得到蓄电池和超级电容器的参考功率分别为:

$$[0013] \quad P_{bat_ref} = \frac{1}{1+Ts} P_{HESS}$$

$$[0014] \quad P_{sc_ref} = \frac{Ts}{1+Ts} P_{HESS}$$

[0015] 其中, s 为微分算子; T 为滤波时间常数;

[0016] ②通过蓄电池和超级电容器各自两端的电压电流检测模块采集荷电值SOC, 输入能量控制处理器, 根据二者的SOC进行限值管理, 得到蓄电池和超级电容器的功率分配方式, 其中SOC_{sc}表示超级电容器的实际荷电值, SOC_{bat}表示蓄电池的实际荷电值; SOC_{sc_high}、SOC_{sc_low}表示超级电容器的过度充电警戒值和过度放电警戒值; SOC_{sc_max}、SOC_{sc_min}分别表示超级电容器荷电状态的上限与下限; SOC_{bat_max}、SOC_{bat_min}分别表示蓄电池荷电状态的上限与下限, 设定T₀为初始滤波时间常数, ΔT 为滤波时间常数T的增量, 经过限值管理后的滤波时间常数为 $T = T_0 + \Delta T$; T₀由需要平抑的光伏波动功率决定 (例如: 一般需要平抑光伏波动频率为0.01Hz以上, 取T₀=50); T_d与蓄电池和超级电容器容量配置有关, T_d的范围为 $0 < T_d \leq T_0$, 在此范围内, 若超级电容器配置容量较充裕, 可适度增大T_d, 使超级电容器承担更多波动功率的充放电; 反之, 若超级电容器配置容量小, 可适度减小T_d使超级电容器承担较少波动功率的充放电 (T_d的取值为本领域技术人员公知的或者可以通过有限的实验得到的)。设定T_d为 ΔT 最大变化范围, ΔT 的控制如下:

[0017] a. 当SOC_{sc} < SOC_{sc_min}时, 超级电容器限制放电, 只允许充电, 若P_{sc_ref} < 0, 则 $\Delta T = T_d$; 若P_{sc_ref} > 0, 禁止超级电容器放电, 由蓄电池承担所有输出功率, 即P_{bat_ref} = P_{HESS};

[0018] b. 当SOC_{sc_min} < SOC_{sc} < SOC_{sc_low}时, 使超级电容器减少放电量, 增加充电量, 减缓超级电容器SOC_{sc}的下降; 若P_{sc_ref} < 0, 则 $\Delta T = \frac{SOC_{sc} - SOC_{sc_low}}{SOC_{sc_min} - SOC_{sc_low}} T_d$; 若P_{sc_ref} > 0, 则

$$\Delta T = -\frac{SOC_{sc} - SOC_{sc_low}}{SOC_{sc_min} - SOC_{sc_low}} T_d ;$$

[0019] c. 当SOC_{sc_low} < SOC_{sc} < SOC_{sc_high}时, 超级电容器与蓄电池的输出不做调整, 即 $\Delta T = 0$;

[0020] d. 当SOC_{sc_high} < SOC_{sc} < SOC_{sc_max}时, 使超级电容器增加放电量, 减少充电量, 减缓超级电容器SOC_{sc}的上升; 若P_{sc_ref} < 0, 则 $\Delta T = -\frac{SOC_{sc} - SOC_{sc_high}}{SOC_{sc_max} - SOC_{sc_high}} T_d$; 若P_{sc_ref} > 0, 则

$$\Delta T = \frac{SOC_{sc} - SOC_{sc_high}}{SOC_{sc_max} - SOC_{sc_high}} T_d ;$$

[0021] e. 当SOC_{sc} > SOC_{sc_max}时, 超级电容器限制充电, 只允许放电, 若P_{sc_ref} < 0, 禁止超级电容器充电, 由蓄电池承担所有吸收功率, 即P_{bat_ref} = P_{HESS}; 若P_{sc_ref} > 0, 则 $\Delta T = T_d$;

[0022] f. 当蓄电池充电至SOC_{bat} > SOC_{bat_max}时, 光伏发电单元通过BOOST变换器的输出功率由MPPT模式进入恒压模式, 对蓄电池进行浮充;

[0023] g. 当蓄电池放电至SOC_{bat} < SOC_{bat_min}时, 减少负载, 使负载功率与光伏发电单元通过BOOST变换器的输出功率相匹配, 光伏发电单元的功率输出为MPPT模式; 对储能系统进行限制放电, 蓄电池停止工作, 超级电容器也停止工作。

[0024] 三、根据步骤二中输出的蓄电池功率P'_{bat_ref}和超级电容器功率P'_{sc_ref}, 以及从各

自电压电流测试模块采集回的 u_{bat} 和 u_{sc} ,通过能量控制处理器计算出 i_{bat_ref} 和 i_{sc_ref} ,再将蓄电池和超级电容器的电流 i 和参考电流 i_{ref} 输入各自的双向DC/DC变换器中,控制二者的充电或者放电过程。

[0025] 本发明主要是对由蓄电池和超级电容器组成的混合储能系统和光伏发电单元构成的微网系统进行功率平抑控制;所述混合储能控制方法中,通过低通滤波来分配超级电容器和蓄电池各自的功率,作为储能系统控制的参考值;当环境变化引起母线功率波动时,超级电容器迅速提供高频波动功率,以抑制对直流母线的冲击,蓄电池承担剩余平滑部分。

[0026] 直流母线电压与系统各单元的功率关系为:

$$[0027] \quad C_{dc} u_{dc} \frac{du_{dc}}{dt} = P_{pv} + P_{bat} + P_{sc} - P_{load}$$

[0028] 式中, $C_{dc} u_{dc} \frac{du_{dc}}{dt}$ 为维持母线电压稳定所需功率即 P_{dc} (其中 C_{dc} 为直流储能电容; u_{dc} 为直流母线电压); P_{pv} 为光伏发电单元发出功率; P_{bat} 为蓄电池吸收/释放功率; P_{sc} 为超级电容器吸收/释放功率; P_{load} 为直流负荷功率。所述关系式中,规定流向直流母线电压方向为正方向。因此得出 $P_{bat}+P_{sc}=P_{dc}+P_{load}-P_{pv}=P_{HESS}$ 。

[0029] 因此储能系统应释放/吸收相应功率来满足负荷功率以及光伏发电单元输出功率的变化,计算出储能系统承担的功率。再将储能装置承担功率 P_{HESS} 经过一阶低通滤波,并结合混合储能限值配置容量,得到蓄电池和超级电容器的功率分配方式。蓄电池在维持系统功率平衡中承担着 P_{HESS} 的主要部分。而在混合储能系统运行过程中,为了避免蓄电池和超级电容器的过充和过放,应根据二者的荷电状态SOC(SOC为蓄电池或者超级电容器的荷电量百分比)进行限值管理,并相应调整超级电容器与蓄电池所承担功率。本领域技术人员可由低通滤波原理得知,滤波时间常数 T 越大, P_{HESS} 经过滑动平均滤波后得到的 P_{bat} 越平滑;反之, T 越小,则 P_{HESS} 经过滤波后得到的 P_{bat} 越接近 P_{HESS} ,其中微分算子 s 也是本领域技术人员公知的,因此可以使用前述 ΔT 的控制规则来调整蓄电池与超级电容器的分配方式。根据蓄电池的SOC情况,光伏发电单元经过BOOST变换器输出功率的模式在恒压输出与MPPT模式之间切换(MPPT模式为最大功率点追踪模式)。

[0030] 本发明的有益效果为,独立光伏混合储能系统主要是通过调节滤波时间常数 T 的方法来储能系统承担功率进行分配,系统功率波动时储能系统能快速维持直流母线电压稳定并且保持系统内功率平衡,并优化了蓄电池充放电过程,减少了其循环次数,有效延长其工作寿命;根据超级电容器容量小的缺点,提出一种基于超级电容器SOC分区的限值控制方法,根据超级电容器SOC所在分区不同对滤波时间常数 T 进行调节,进而对蓄电池与超级电容器各自承担的功率再次分配,有效改善因超级电容器容易过充或过放导致系统不能正常工作的缺点,此方法不仅可以维持直流母线的稳定,也可以使蓄电池和超级电容器的性能达到最佳。

附图说明

[0031] 图1为本发明的结构示意图。

[0032] 图2为本发明中能量控制处理器的控制示意图。

[0033] 图3为本发明的功率流向示意图。

- [0034] 图4为本发明中能量控制处理器的计算流程示意图。
 [0035] 图5为本发明中蓄电池SOC限值控制方法示意图。
 [0036] 图6为本发明中超级电容器SOC限值控制方法示意图。
 [0037] 图7为本发明中 ΔT 的取值坐标图。

具体实施方式

[0038] 下面结合附图对本发明的具体实施方式进行说明。

[0039] 一种独立光伏混合储能系统能量控制方法,如图1、图2、图3所示,一种独立光伏混合储能系统包括蓄电池、超级电容器、光伏发电单元、直流母线以及直流负载,所述蓄电池和超级电容器分别通过各自的双向DC/DC变换器连接于直流母线,所述光伏发电单元阵列通过BOOST变换器连接于直流母线;所述双向DC/DC变换器与所述BOOST变换器均由能量控制处理器控制,该光伏混合储能系统能量控制方法包括以下步骤:

[0040] 一、计算混合储能系统承担功率 P_{HESS} :

[0041] ①采集直流母线电压 u_{dc} , C_{dc} 为已知固定直流储能电容,应用上位机计算维持母线电压稳定所需功率 P_{dc} :

$$[0042] \quad P_{dc} = C_{dc} u_{dc} \frac{du_{dc}}{dt} \quad (1)$$

[0043] ②应用上位机采集直流负载功率 P_{load} ,应用光伏发电单元两端的电压电流检测模块采集光伏发电功率 P_{pv} ;

[0044] ③将采集到的功率数据输入能量控制处理器,计算储能系统承担功率 P_{HESS} ,

$$[0045] \quad P_{HESS} = P_{dc} + P_{load} - P_{pv} \quad (2)$$

[0046] 二、根据计算得出的 P_{HESS} 来分配蓄电池与超级电容器的功率:

[0047] ①由于 $P_{HESS} = P_{bat} + P_{sc}$, P_{bat} 表示蓄电池吸收/释放功率; P_{sc} 表示为超级电容器吸收/释放功率;将功率 P_{HESS} 经过能量控制处理器的一阶低通滤波器,得到蓄电池和超级电容器的参考功率分别为:

$$[0048] \quad P_{bat_ref} = \frac{1}{1+Ts} P_{HESS}$$

$$[0049] \quad P_{sc_ref} = \frac{Ts}{1+Ts} P_{HESS}$$

[0050] 其中, s 为微分算子; T 为滤波时间常数;

[0051] ②通过蓄电池和超级电容器各自两端的电压电流检测模块采集荷电值SOC,输入能量控制处理器,根据二者的SOC进行限值控制,得到蓄电池和超级电容器的功率分配方式,其中 SOC_{sc} 表示超级电容器的实际荷电值, SOC_{bat} 表示蓄电池的实际荷电值; SOC_{sc_high} 、 SOC_{sc_low} 表示超级电容器的过度充电警戒值和过度放电警戒值; SOC_{sc_max} 、 SOC_{sc_min} 分别表示超级电容器荷电状态的上限与下限; SOC_{bat_max} 、 SOC_{bat_min} 分别表示蓄电池荷电状态的上限与下限,设定 T_0 为初始滤波时间常数, T_0 根据需要平抑的光伏波动功率决定,本实施例中 $T_0 = 50$; T_d 由蓄电池和超级电容器容量配置决定, T_d 的范围为 $0 < T_d \leq T_0$,若超级电容器配置容量较充裕,可适度增大 T_d 使超级电容器承担更多波动功率的充放电;反之,若超级电容器配置容量小,可适度减小 T_d 使超级电容器承担较少波动功率的充放电。 ΔT 的控制如下:

[0052] a. 当 $SOC_{sc} < SOC_{sc_min}$ 时,超级电容器限制放电,只允许充电,若 $P_{sc_ref} < 0$,则 $\Delta T = T_d$;若 $P_{sc_ref} > 0$,禁止超级电容器放电,由蓄电池承担所有输出功率,即 $P_{bat_ref} = P_{HESS}$;

[0053] b. 当 $SOC_{sc_min} < SOC_{sc} < SOC_{sc_low}$ 时,使超级电容器减少放电量,增加充电量,减缓超级电容器 SOC_{sc} 的下降;若 $P_{sc_ref} < 0$,则 $\Delta T = \frac{SOC_{sc} - SOC_{sc_low}}{SOC_{sc_min} - SOC_{sc_low}} T_d$;若 $P_{sc_ref} > 0$,则

$$\Delta T = -\frac{SOC_{sc} - SOC_{sc_low}}{SOC_{sc_min} - SOC_{sc_low}} T_d ;$$

[0054] c. 当 $SOC_{sc_low} < SOC_{sc} < SOC_{sc_high}$ 时,超级电容器与蓄电池的输出不做调整,即 $\Delta T = 0$;

[0055] d. 当 $SOC_{sc_high} < SOC_{sc} < SOC_{sc_max}$ 时,使超级电容器增加放电量,减少充电量,减缓超级电容器 SOC_{sc} 的上升;若 $P_{sc_ref} < 0$,则 $\Delta T = -\frac{SOC_{sc} - SOC_{sc_high}}{SOC_{sc_max} - SOC_{sc_high}} T_d$;若 $P_{sc_ref} > 0$,则

$$\Delta T = \frac{SOC_{sc} - SOC_{sc_high}}{SOC_{sc_max} - SOC_{sc_high}} T_d ;$$

[0056] e. 当 $SOC_{sc} > SOC_{sc_max}$ 时,超级电容器限制充电,只允许放电,若 $P_{sc_ref} < 0$,禁止超级电容器充电,由蓄电池承担所有吸收功率,即 $P_{bat_ref} = P_{HESS}$;若 $P_{sc_ref} > 0$,则 $\Delta T = T_d$;

[0057] f. 当蓄电池充电至 $SOC_{bat} > SOC_{bat_max}$ 时,光伏发电单元通过BOOST变换器的输出功率由MPPT模式进入恒压模式,对蓄电池进行浮充;

[0058] g. 当蓄电池放电至 $SOC_{bat} < SOC_{bat_min}$ 时,减少负载,使负载功率与光伏发电单元通过BOOST变换器的输出功率相匹配,光伏发电单元的功率输出为MPPT模式;对储能系统进行限制放电,蓄电池停止工作,超级电容器也停止工作。

[0059] 三、根据步骤二中输出的蓄电池功率 P'_{bat_ref} 和超级电容器功率 P'_{sc_ref} ,以及从各自电压电流测试模块采集回的 U_{bat} 和 U_{sc} ,通过能量控制处理器计算出 i_{bat_ref} 和 i_{sc_ref} ,再将蓄电池和超级电容器的电流 i 和参考电流 i_{ref} 输入各自的双向DC/DC变换器中,控制二者的充电或者放电过程。

[0060] 如图4所示,是本实施例中能量控制处理器的计算流程图,将维持母线电压稳定所需功率 P_{dc} 与直流负载 P_{load} 相加后,减去光伏发电单元输出功率 P_{pv} ,即为储能系统所需承担功率 P_{HESS} ,将计算出的 P_{HESS} 通过低通滤波来分配超级电容器和蓄电池各自的功率,即通过公式(3),得出蓄电池的参考功率 P_{bat_ref} ,再用 P_{HESS} 减去 P_{bat_ref} 得到超级电容器的参考功率 P_{sc_ref} ,二者作为储能系统控制的参考值,在经过限值管理模块以后,调整了 ΔT ,也就是调整了 T , ΔT 取值如图7所示,根据 ΔT 的取值情况,便可以对蓄电池和超级电容器的功率再次分配,通过此分配,再将电流值输入二者分别的双向DC/DC变换器,使蓄电池和超级电容器发挥作用,使混合储能系统对直流母线起到稳定的作用,当环境变化引起母线功率波动时,超级电容器迅速提供高频波动功率,以抑制对直流母线的冲击,蓄电池承担剩余平滑部分。

[0061] 蓄电池的SOC限值管理方法如图5所示:蓄电池在维持系统功率平衡中承担着 P_{HESS} 的主要部分,因此当 $SOC_{bat} > SOC_{bat_max}$ 时,光伏发电单元通过BOOST变换器的输出功率由MPPT模式进入恒压模式,对蓄电池进行浮充;蓄电池放电时,当 $SOC_{bat} < SOC_{bat_min}$ 时,应切除部分负荷,使其与光伏发电单元的负荷相匹配,光伏发电单元通过BOOST变换器的输出功率为MPPT控制方式,对储能系统进行限制放电,蓄电池停止工作,超级电容器也停止工作。

[0062] 超级电容器SOC限值管理方法如图6所示:超级电容器属于功率型储能器件,其储

能容量一般较低。使用传统的限值管理方法会使超级电容器在持续充放电的过程中易达到限制充放电的限值,频繁达到超级电容器充放电极值,致使系统稳定性下降。考虑到超级电容器的特性,将超级电容器SOC划分为五个工作区域,在各个区域内分别调整其承担的功率,避免超级电容器达到其限充、限放值。

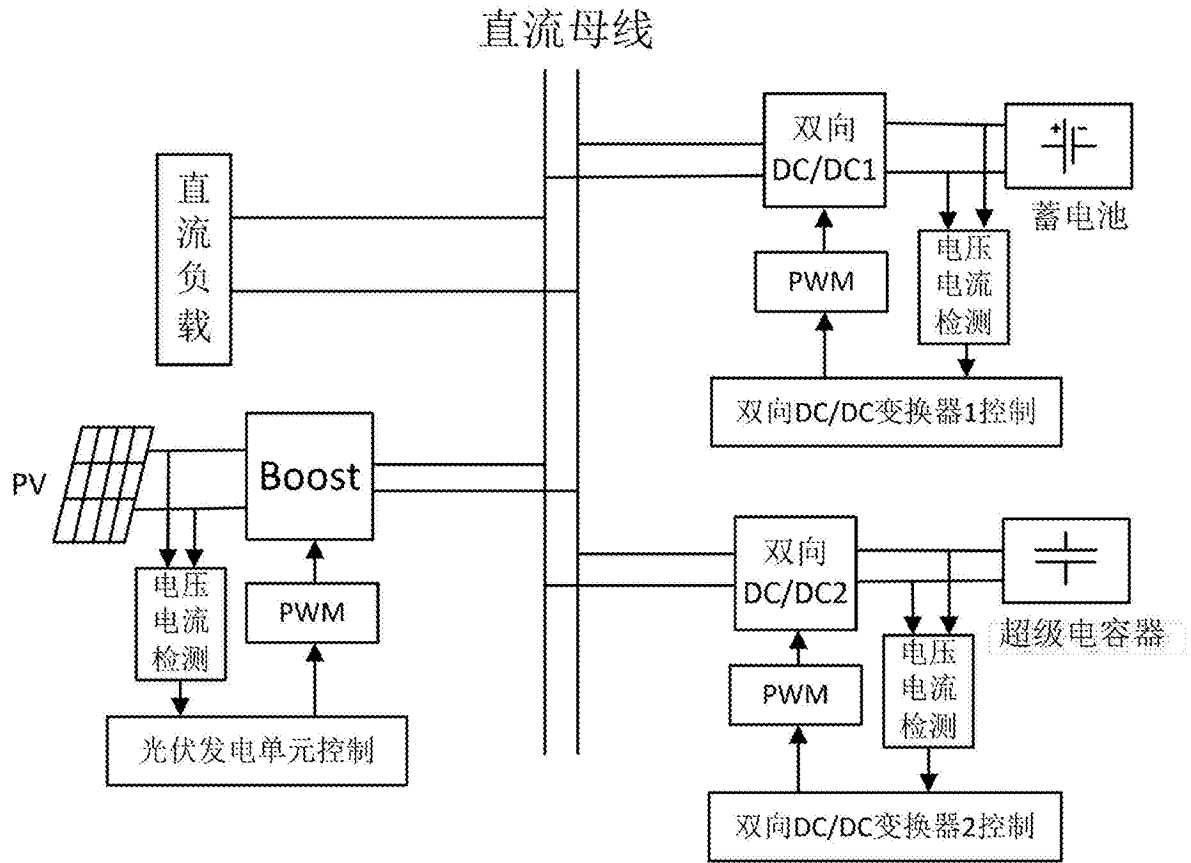


图1

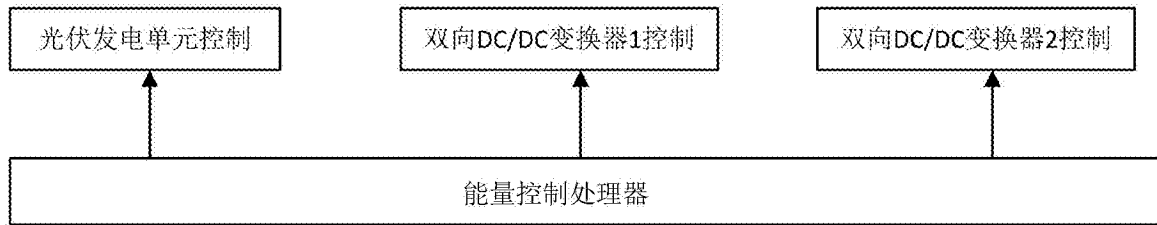


图2

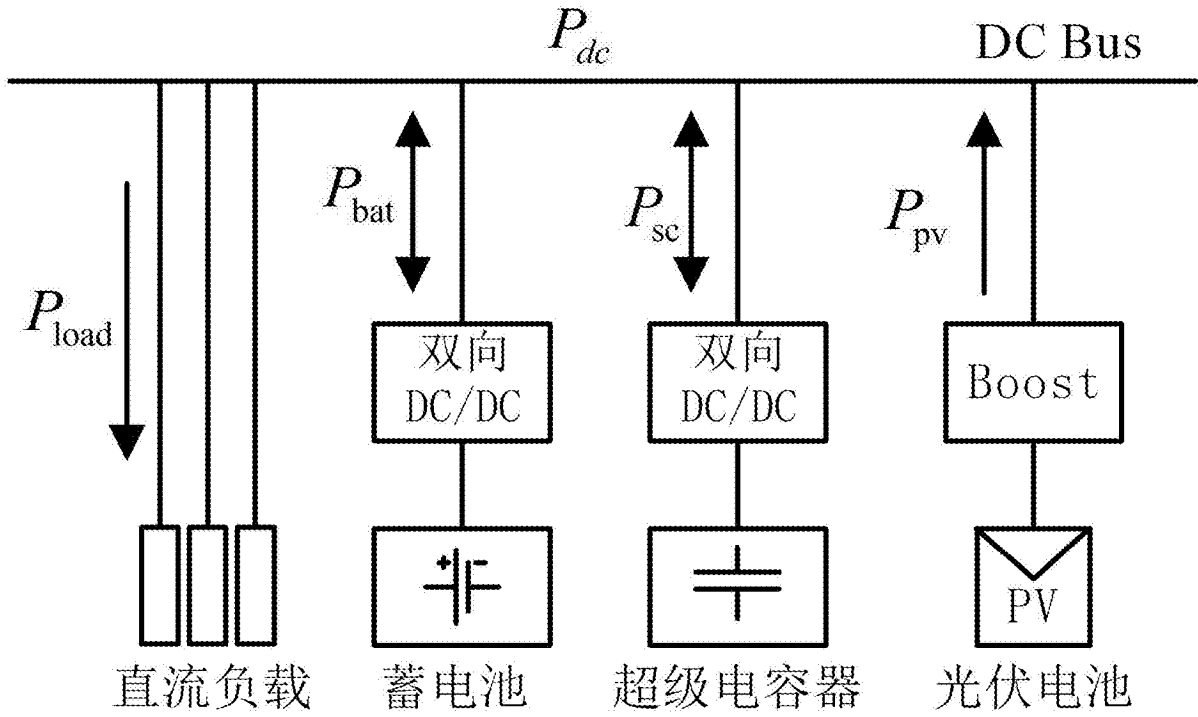


图3

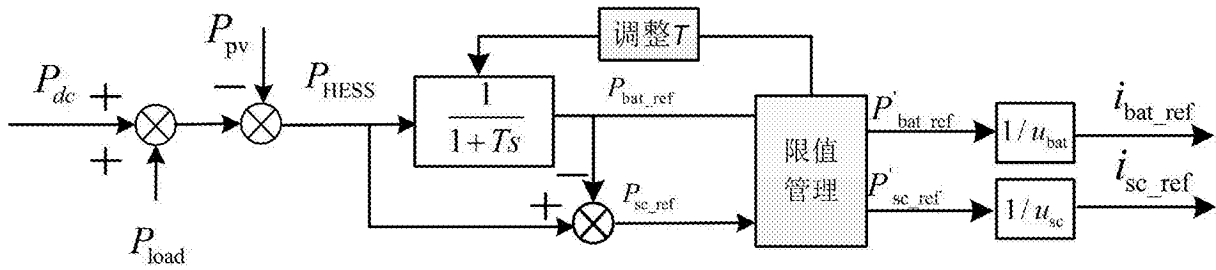


图4

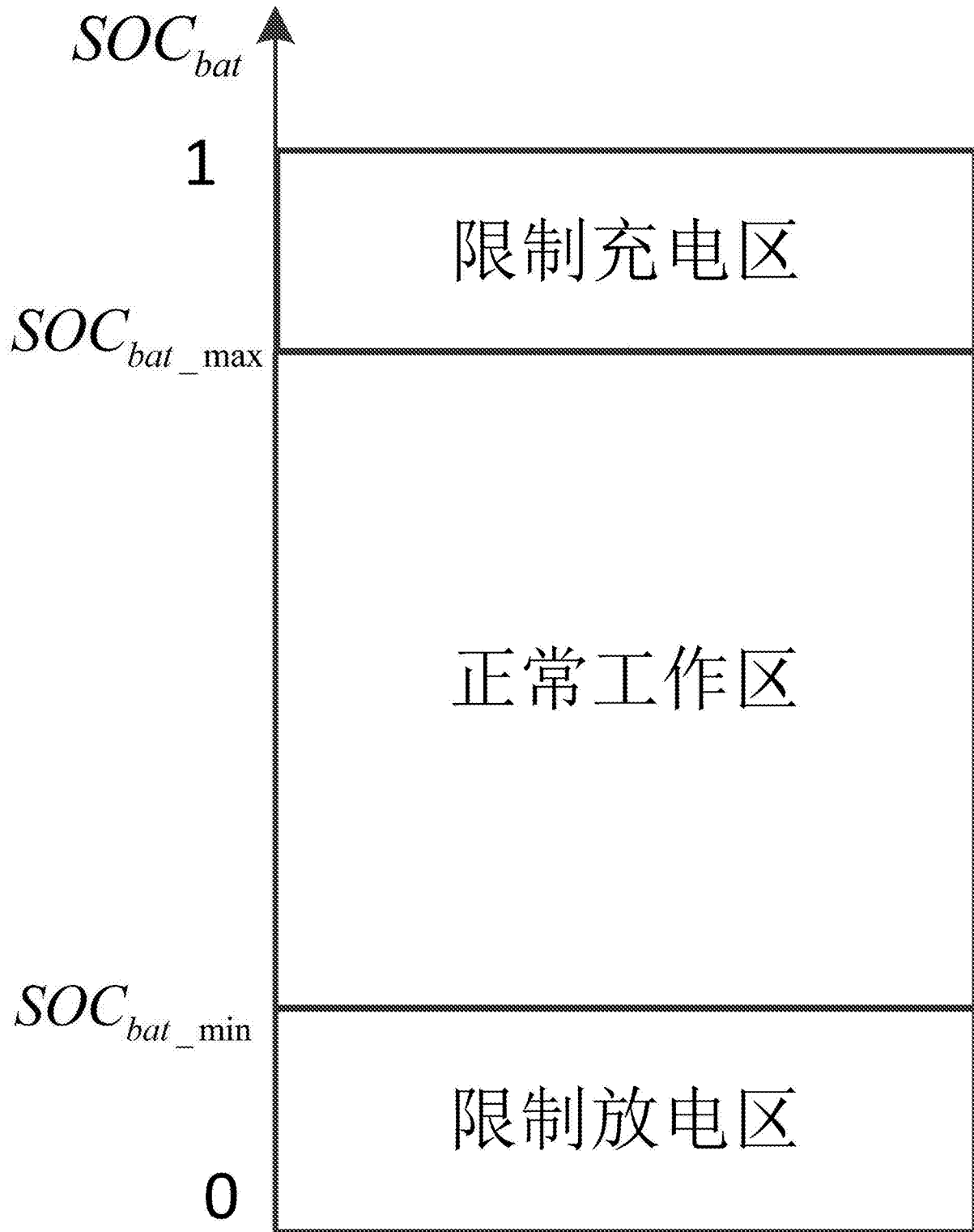


图5

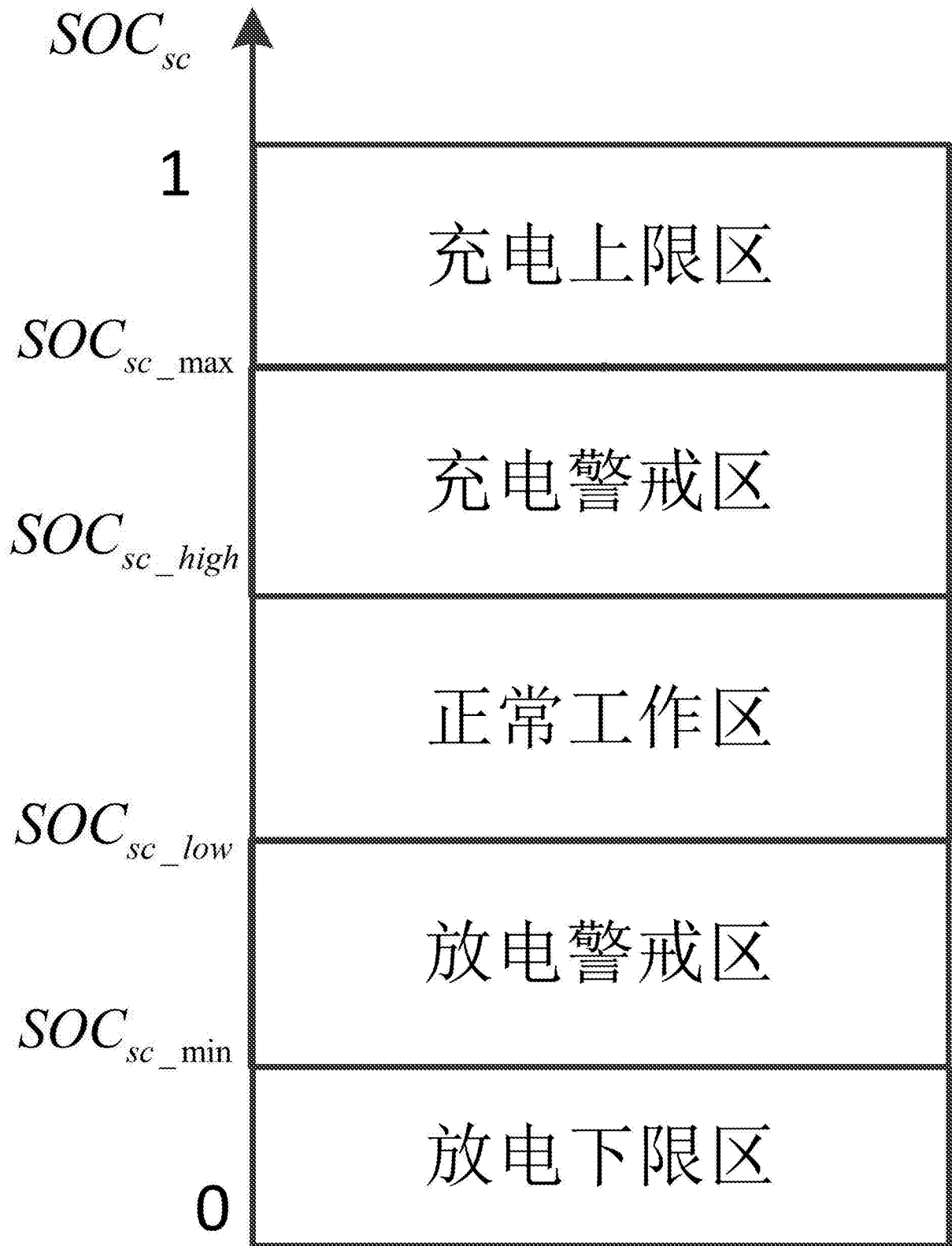


图6

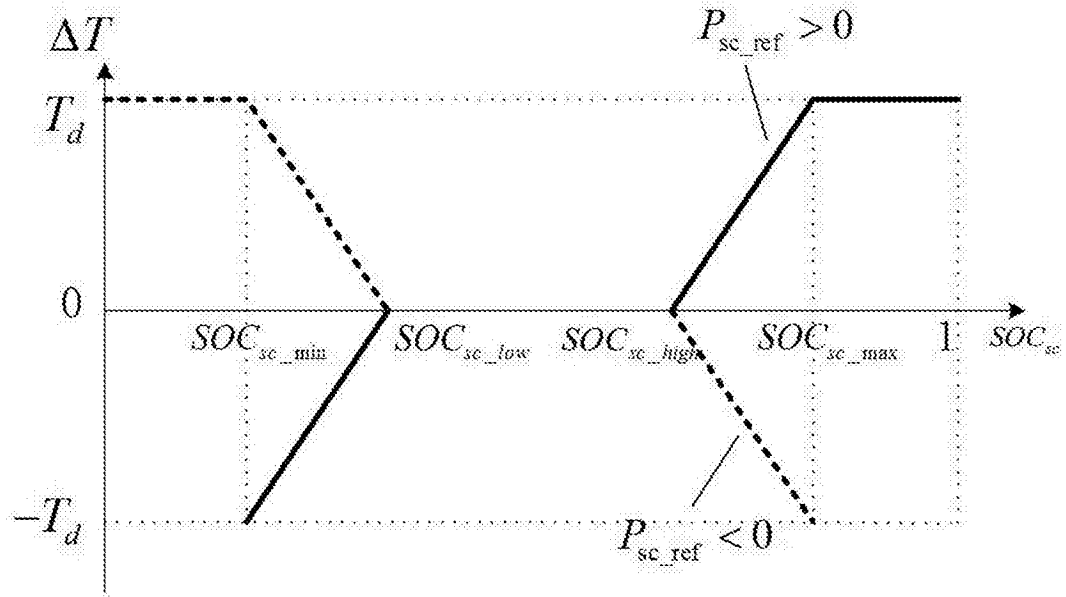


图7