



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103236708 B

(45) 授权公告日 2014. 12. 10

(21) 申请号 201310154010. 6

(22) 申请日 2013. 04. 28

(73) 专利权人 电子科技大学

地址 611731 四川省成都市高新区(西区)西源大道 2006 号

(72) 发明人 邹见效 彭超 辛晓帅 徐红兵 张珍珍 戴碧蓉

(74) 专利代理机构 成都行之专利代理事务所 (普通合伙) 51220

代理人 温利平

(51) Int. Cl.

H02J 3/32 (2006. 01)

H02J 3/38 (2006. 01)

H02J 7/00 (2006. 01)

H02J 15/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 102163849 A, 2011. 08. 24, 全文.

US 2009/0302681 A1, 2009. 12. 10, 全文.

Jianxiao Zou, etc.. A multi-objective optimization approach to active power control of wind. 《American Control Conference (ACC)》. 2012, 第 4381-4386 页.

丁明等. 具备荷电状态调节功能的储能系统实时平滑控制策略. 《中国电机工程学报》. 2013, 第 33 卷 (第 1 期), 第 22-29 页.

审查员 周香

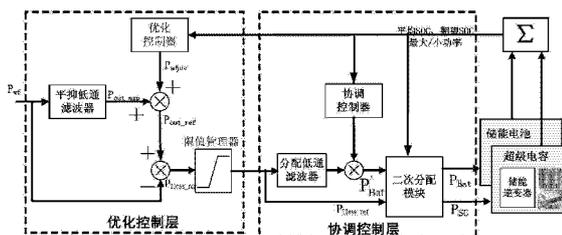
权利要求书2页 说明书8页 附图9页

(54) 发明名称

一种基于混合储能的风电功率平抑方法

(57) 摘要

本发明提供了一种基于混合储能的风电功率平抑方法,通过混合储能系统平均 SOC 以及期望 SOC 计算出功率调节值来修订风电场的期望输出功率,从而将混合储能系统的 SOC 考虑到风电功率平抑过程中,避免混合储能系统过充过放情况的发生,降低了风电场对储能系统容量的要求,维持混合储能系统整体较高的充放电能力。同时,根据储能电池以及超级电容的 SOC 对储能电池和超级电容直接进行适当的功率调节,超级电容优先响应风电功率波动平抑的需求,其 SOC 通过储能电池充放电实时调整,以减少储能电池充放电次数,延长电池使用寿命。



1. 一种基于混合储能的风电功率平抑方法,其特征在于,包括以下步骤:

(1)、优化控制层制定并执行储能系统的功率优化策略,为混合储能系统提供设定功率 $P_{\text{Hess_ref}}$;

1.1)、风电场的风电实时功率 P_{wf} 经平抑低通滤波器滤波剔除其中的高频分量后,得到注入电网的平抑后的期望输出功率 $P_{\text{out_exp}}$;

1.2)、根据混合储能系统平均 SOC 以及期望 SOC,计算出功率调节值 P_{adjust} ;

$$P_{\text{adjust}} = (\text{SOC}_{\text{avg}} - \text{SOC}_{\text{avg_exp}}) \times K_{\text{Hess}};$$

其中, K_{Hess} 为比例系数,与混合储能系统储能设定的容量有关,设定的容量越大,其值越小,反之亦然;

混合储能系统平均 SOC 以及期望 SOC 分别为:

$$\text{SOC}_{\text{avg}} = \frac{\text{SOC}_{\text{Bat}} \times Q_{\text{Bat}} + \text{SOC}_{\text{SC}} \times Q_{\text{SC}}}{Q_{\text{Bat}} + Q_{\text{SC}}}$$

$$\text{SOC}_{\text{avg_exp}} = \frac{\text{SOC}_{\text{Bat_exp}} \times Q_{\text{Bat}} + \text{SOC}_{\text{SC_exp}} \times Q_{\text{SC}}}{Q_{\text{Bat_exp}} + Q_{\text{SC_exp}}};$$

其中, Q_{Bat} 、 Q_{SC} 分为混合储能系统中储能电池权值和超级电容权值,根据混合储能系统储中,储能电池和超级电容的容量确定,容量越大,其值越小,反之亦然; SOC_{Bat} 为储能电池的当前荷电状态值 (SOC), SOC_{SC} 为超级电容的当前荷电状态值 (SOC), $\text{SOC}_{\text{Bat_exp}}$ 、 $\text{SOC}_{\text{SC_exp}}$ 分别为储能电池与超级电容设定的最佳 SOC 值;

功率调节值 P_{adjust} 经过 SOC 平抑低通滤波器滤波剔除其中的高频分量后输出;

1.3)、将步骤 1.1) 得到的期望输出功率 $P_{\text{out_exp}}$ 与步骤 1.2) 得到的功率调节值 P_{adjust} 进行相加,得到风电场输出设定功率 $P_{\text{out_ref}}$;

将风电场输出设定功率 $P_{\text{out_ref}}$ 减去风电实时功率 P_{wf} ,得到混合储能系统设定功率 $P_{\text{Hess_ref}}$;

(2)、协调控制层在考虑超级电容和储能电池的充放电特性的基础上,制定并执行混合储能系统的功率分配策略,实现两种储能设备 SOC 的协调控制;

2.1)、混合储能系统设定功率 $P_{\text{Hess_ref}}$ 通过分配低通滤波提取其中的低频部分 $P'_{\text{Hess_ref}}$;

2.2)、首先计算出调节功率 ΔP_{SC} ;

$$\Delta P_{\text{SC}} = (\text{SOC}_{\text{SC}} - \text{SOC}_{\text{SC_exp}}) \times K_{\text{SC}}$$

其中, K_{SC} 为比例系数,越大调节力度越大,反之亦然;

然后,对调节功率 ΔP_{SC} 进行低通滤波,滤除干扰,得到调节功率 $\Delta P'_{\text{SC}}$,再根据下表,得到功率调节值 $P_{\text{adjust_SC}}$;

$\Delta P'_{SC}$	SOC_{Bat}	P_{adjust_SC}
≥ 0	$< 70\%$	$\Delta P'_{SC}$
≥ 0	$\geq 70\%$	0
< 0	$\geq 30\%$	$\Delta P'_{SC}$
< 0	$< 30\%$	0

2.3)、将低频部分 P'_{Hess_ref} 减去功率调节值 P_{adjust_SC} ，得到储能电池的设定功率 P'_{Bat} ；

2.4)、混合储能系统设定功率 P_{Hess_ref} 进行二次分配，得到最终的储能电池设定功率 P_{Bat} 以及最终的超级电容设定功率 P_{SC} ：

混合储能系统设定功率 P_{Hess_ref} 减去限值处理后的储能电池的设定功率 P'_{Bat} 得到超级电容设定功率 P'_{SC} ，超级电容设定功率 P'_{SC} 经过限值处理，得到最终的超级电容设定功率 P_{SC} ；

混合储能系统设定功率 P_{Hess_ref} 减去最终的超级电容设定功率 P_{SC} ，然后进行限值处理，得到最终的储能电池设定功率 P_{Bat} ；

其中，限值处理是指输入的值大于设定阈值时，输出值为设定阈值，其他情况为输入值；

(3)、用最终的储能电池设定功率 P_{Bat} 以及最终的超级电容设定功率 P_{SC} 去控制储能电池、超级电容的充放电，使风电场的风电功率得到平抑。

2. 根据权利要求1所述的风电功率平抑方法，其特征在于，在步骤(1)中，所述的风电平抑低通滤波器、SOC平抑低通滤波器的截止频率相同，为0.01Hz。

3. 根据权利要求1所述的风电功率平抑方法，其特征在于，在步骤(1)中，所述的混合储能系统设定功率 P_{Hess_ref} 还有经过限值处理，即：

限值管理器考虑混合储能系统的最大充放电功率，设定最大最小功率，当混合储能系统设定功率 P_{Hess_ref} 大于最大值或小于最小值时，则限值管理器将其值限定为最大值或最小值，其余限值管理器输出输入的混合储能系统设定功率 P_{Hess_ref} ，以避免出现设定功率超出混合储能系统能力的情况，从而延长储能系统使用寿命。

一种基于混合储能的风电功率平抑方法

技术领域

[0001] 本发明属于风电场混合储能技术领域,更为具体地讲,涉及一种基于混合储能的风电功率平抑方法。

背景技术

[0002] 随着风电大规模并网,其功率波动对电网的冲击越来越突出。而储能系统具有的短时快速吸收和释放能量的特点,能够有效弥补风电输出功率间歇性、波动性的缺点,因此在风力发电并网系统中配置储能系统已经成为平抑风电输出功率波动的有效手段之一。由超级电容和储能电池组成的混合储能系统,弥补了单一储能技术的不足,因此越来越多的风电场开始配置混合储能系统。

[0003] 混合储能系统可以对风电场输出功率中某一特定频段的波动成分进行补偿,从而实现风电功率波动平抑。将储能设定功率分为频繁波动部分和平滑部分,分别由超级电容和储能电池承担,可以实现对平抑需求的快速响应。混合储能系统设定功率可以由风电场实时输出功率经滤波器得到。

[0004] 图1是现有技术采用低通滤波方式进行风电功率平抑的控制流程图。如图1所示,风电场输出的风电实时功率 P_{wf} 经过平抑低通滤波得出平抑后的功率 P_{out} ,混合储能设定功率 P_{Hess_ref} 由平抑后的功率 P_{out} 减去风电实时功率 P_{wf} 相减得到。采样分配低通滤波,提取混合储能设定功率 P_{Hess_ref} 中低频功率部分并经过限值环节使储能电池设定功率 P_{Bat} 在其能力范围内,超级电容将承担剩余高频部分即混合储能设定功率 P_{Hess_ref} 减去储能电池设定功率 P_{Bat} ,得到的超级电容设定功率 P_{SC} 。

[0005] 将混合储能设定功率 P_{Hess_ref} 分为频繁波动部分即 P_{SC} 和平滑部分 P_{Bat} ,分别由超级电容和储能电池承担,可以实现对平抑需求的快速响应。

[0006] 目前的研究集中在如何利用有限的储能能力实现功率平抑,而很少考虑系统整体充放电能力和不同储能设备之间的协调。如何针对不同充放电特性的储能设备进行功率分配,避免出现储能设备深充过放现象是实现混合储能风电功率平抑的关键。

发明内容

[0007] 本发明的目的在于克服现有技术的不足,针对由超级电容和储能电池组成的混合储能系统提供一种基于混合储能的风电功率平抑方法,以实现了混合储能系统的功率优化分配,同时避免了储能设备的过充过放,延长使用寿命。

[0008] 为实现以上目的,本发明基于混合储能的风电功率平抑方法,其特征在于,包括以下步骤:

[0009] (1)、优化控制层制定并执行储能系统的功率优化策略,为混合储能系统提供设定功率 P_{Hess_ref} ;

[0010] 1.1)、风电场的风电实时功率 P_{wf} 经风电平抑低通滤波器滤波剔除其中的高频分量后,得到注入电网的平抑后的期望输出功率 P_{out_exp} ;

[0011] 1.2)、根据混合储能系统平均 SOC 以及期望 SOC,计算出功率调节值 P_{adjust} :

$$[0012] \quad P_{\text{adjust}} = (\text{SOC}_{\text{avg}} - \text{SOC}_{\text{avg_exp}}) \times K_{\text{Hess}}$$

[0013] 其中, K_{Hess} 为比例系数,与混合储能系统储能设定的容量有关,设定的容量越大,其值越小,反之亦然;

[0014] 混合储能系统平均 SOC 以及期望 SOC 分别为:

$$[0015] \quad \text{SOC}_{\text{avg}} = \frac{\text{SOC}_{\text{Bat}} \times Q_{\text{Bat}} + \text{SOC}_{\text{SC}} \times Q_{\text{SC}}}{Q_{\text{Bat}} + Q_{\text{SC}}}$$

$$[0016] \quad \text{SOC}_{\text{avg_exp}} = \frac{\text{SOC}_{\text{Bat_exp}} \times Q_{\text{Bat}} + \text{SOC}_{\text{SC_exp}} \times Q_{\text{SC}}}{Q_{\text{Bat_exp}} + Q_{\text{SC_exp}}};$$

[0017] 其中, Q_{Bat} 、 Q_{SC} 分为混合储能系统中储能电池权值和超级电容权值,根据混合储能系统储中,储能电池和超级电容的容量确定,容量越大,其值越小,反之亦然; SOC_{Bat} 为储能电池的当前荷电状态值 (SOC), SOC_{SC} 为超级电容的当前荷电状态值 (SOC), $\text{SOC}_{\text{Bat_exp}}$ 、 $\text{SOC}_{\text{SC_exp}}$ 分别为储能电池与超级电容设定的最佳 SOC 值;

[0018] 功率调节值 P_{adjust} 经过 SOC 平抑低通滤波器滤波剔除其中的高频分量后输出;

[0019] 1.3)、将步骤 1.1) 得到的期望输出功率 $P_{\text{out_exp}}$ 与步骤 1.2) 得到的功率调节值 P_{adjust} 进行相加,得到风电场输出设定功率 $P_{\text{out_ref}}$;

[0020] 将风电场输出设定功率 $P_{\text{out_ref}}$ 减去风电实时功率 P_{wf} ,得到混合储能系统设定功率 $P_{\text{Hess_ref}}$;

[0021] (2)、协调控制层在考虑超级电容和储能电池的充放电特性的基础上,制定并执行混合储能系统的功率分配策略,实现两种储能设备 SOC 的协调控制;

[0022] 2.1)、混合储能系统设定功率 $P_{\text{Hess_ref}}$ 通过分配低通滤波提取其中的低频部分 $P'_{\text{Hess_ref}}$;

[0023] 2.2)、首先计算出调节功率 ΔP_{SC} :

$$[0024] \quad \Delta P_{\text{SC}} = (\text{SOC}_{\text{SC}} - \text{SOC}_{\text{SC_exp}}) \times K_{\text{SC}}$$

[0025] 其中, K_{SC} 为比例系数,越大调节力度越大,反之亦然;

[0026] 然后,对调节功率 ΔP_{SC} 进行低通滤波,滤除干扰,得到调节功率 $\Delta P'_{\text{SC}}$,再根据下表,得到功率调节值 $P_{\text{adjust_SC}}$:

[0027]

$\Delta P'_{\text{SC}}$	SOC_{Bat}	$P_{\text{adjust_SC}}$
≥ 0	$< 70\%$	$\Delta P'_{\text{SC}}$
≥ 0	$\geq 70\%$	0
< 0	$\geq 30\%$	$\Delta P'_{\text{SC}}$
< 0	$< 30\%$	0

[0028] 2.3)、将低频部分 $P'_{\text{Hess_ref}}$ 减去功率调节值 $P_{\text{adjust_SC}}$,得到储能电池的设定功率 P'_{Bat} ;

[0029] 2.4)、混合储能系统设定功率 $P_{\text{Hess_ref}}$ 进行二次分配,得到最终的储能电池设定功

率 P_{Bat} 以及最终的超级电容设定功率 P_{SC} :

[0030] 混合储能系统设定功率 $P_{\text{Hess_ref}}$ 减去限值处理后的储能电池的设定功率 P'_{Bat} 得到超级电容设定功率 P'_{SC} , 超级电容设定功率 P'_{SC} 经过限值处理, 得到最终的超级电容设定功率 P_{SC} ;

[0031] 混合储能系统设定功率 $P_{\text{Hess_ref}}$ 减去最终的超级电容设定功率 P_{SC} , 然后进行限值处理, 得到最终的储能电池设定功率 P_{Bat} ;

[0032] 其中, 限值处理是指输入的值大于设定阈值时, 输出值为设定阈值, 其他情况为输入值 ;

[0033] (3)、用最终的储能电池设定功率 P_{Bat} 以及最终的超级电容设定功率 P_{SC} 去控制储能电池、超级电容的充放电, 使风电场的风电功率得到平抑。

[0034] 本发明的目的是这样实现的 :

[0035] 本发明基于混合储能的风电功率平抑方法通过混合储能系统平均 SOC 以及期望 SOC 计算出功率调节值来修订风电场的期望输出功率, 从而将混合储能系统的 SOC 考虑到风电功率平抑过程中, 使混合储能系统的 SOC 保持在合理范围, 即平均期望 SOC 附近, 避免混合储能系统过充过放情况的发生, 降低了风电场对储能系统容量的要求, 维持混合储能系统整体较高的充放电能力。

[0036] 同时, 根据储能电池以及超级电容的 SOC 对储能电池和超级电容直接进行适当的功率调节, 超级电容优先响应风电功率波动平抑的需求, 其 SOC 通过储能电池充放电实时调整, 以减少储能电池充放电次数, 延长电池使用寿命。并且使二者的 SOC 均向最佳的 SOC 靠拢, 避免了过充过放情况的发生, 从而维持储能系统正常工作, 并延长储能电池的使用寿命。

附图说明

[0037] 图 1 是现有技术采用低通滤波方式进行风电功率平抑的控制流程图 ;

[0038] 图 2 是本发明基于混合储能的风电功率平抑方法一种具体实施方式工作流程图 ;

[0039] 图 3 是图 2 所示优化控制层结构图 ;

[0040] 图 4 是图 2 所示协调控制层结构图 ;

[0041] 图 5 是二次分配模块的原理框图 ;

[0042] 图 6 是风电平抑期望曲线图及实际输出平抑效果对比图 ;

[0043] 图 7 是混合储能系统平均 SOC 及设定功率对比图 ;

[0044] 图 8 是风电输出功率频谱图 ;

[0045] 图 9 是储能电池的 SOC 及设定功率对比图 ;

[0046] 图 10 是超级电容的 SOC 及设定功率对比图 ;

[0047] 图 11 是超级电容和储能电池的 SOC 概率分布图。

具体实施方式

[0048] 下面结合附图对本发明的具体实施方式进行描述, 以便本领域的技术人员更好地理解本发明。需要特别提醒注意的是, 在以下的描述中, 当已知功能和设计的详细描述也许会淡化本发明的主要内容时, 这些描述在这里将被忽略。

[0049] 图 2 是本发明基于混合储能的风电功率平抑方法一种具体实施方式工作流程图。

[0050] 在本实施例中,如图 2 所示,本发明基于混合储能的风电功率平抑方法采样分层结构,包含优化控制层和协调控制层,实现混合储能系统的功率优化分配,避免储能电池和超级电容的过充过放,延长使用寿命。

[0051] 1、优化控制层

[0052] 优化控制层制定并执行储能系统的功率优化策略,为混合储能系统提供设定功率 P_{Hess_ref} 。在本实施例中,如图 3 所示,优化控制层包括平抑低通滤波器、优化控制器和限值管理器模块组成。在优化控制层中,风电场的风电实时功率 P_{wf} 经平抑低通滤波器滤波剔除其中的高频分量后,得到注入电网的平抑后的期望输出功率 P_{out_exp} 。

[0053] 优化控制器根据混合储能系统平均 SOC 以及期望 SOC,计算出功率调节值 P_{adjust} ,功率调节值 P_{adjust} 经过 SOC 平抑低通滤波器滤波剔除其中的高频分量后输出,尽量使混合储能的 SOC 保持在合适范围内。

[0054] 优化控制器是提高混合储能系统整体充放电能力的重要环节。在混合储能系统的每个控制周期内,分别将混合储能系统平均 SOC 以及期望 SOC 进行比较,经比例控制器作用后得到功率调节值 P_{adjust} ,再通过低通滤波器剔除高频部。

[0055] 优化控制层通过功率调节值 P_{adjust} 修订注入电网的期望输出功率 P_{out_exp} 来实现维持储能系统 SOC 在一定范围内。在当前控制周期内,当混合储能系统平均 SOC 高于期望 SOC 工作区时,修订后的风电场输出设定功率 P_{out_ref} 将上调,风电场输出功率目标值增大,将促进混合储能系统放电或减少充电量来完成平抑目标,以保证混合储能系统回到最佳 SOC 工作区;反之,当混合储能系统平均 SOC 低于期望 SOC 工作区时,修订后的风电场输出设定功率 P_{out_ref} 将下调,风电场输出功率目标值减小,将促进混合储能系统吸收风电的盈余能量或减少放电来完成平抑目标,以保证混合储能系统回到最佳 SOC 工作区。

[0056] 将期望输出功率 P_{out_exp} 与功率调节值 P_{adjust} 进行相加,得到风电场输出设定功率 P_{out_ref} ;将风电场输出设定功率 P_{out_ref} 减去风电实时功率 P_{wf} 相减得到混合储能系统设定功率 P_{Hess_ref} 。

[0057] 限值管理器考虑混合储能系统的最大充放电功率,设定最大最小功率,当混合储能系统设定功率 P_{Hess_ref} 大于最大值或小于最小值时,则限值管理器将其值限定为最大值或最小值,其余限值管理器输出输入的混合储能系统设定功率 P_{Hess_ref} ,以避免出现设定功率超出混合储能系统能力的情况,从而延长储能系统使用寿命。

[0058] 优化控制层算法

[0059] 风电场的风电实时功率 P_{wf} 经风电平抑低通滤波器滤波剔除其中的高频分量后,得到注入电网的平抑后的期望输出功率 P_{out_exp} :

[0060]

$$P_{out_exp} = \frac{1}{sT_1 + 1} P_{wf} \quad (1)$$

[0061] 加入功率调节环节后,风电场输出设定功率 P_{out_ref} 为 :

$$P_{out_ref} = P_{wf} \times \frac{1}{sT_1 + 1} + P_{adjust} \times \frac{1}{sT_2 + 1} \quad (2)$$

[0063] 其中 :

$$[0064] \quad P_{\text{adjust}} = (\text{SOC}_{\text{avg}} - \text{SOC}_{\text{avg_exp}}) \times K_{\text{Hess}} \quad (3)$$

[0065] $\text{SOC}_{\text{Bat_exp}}$ 、 $\text{SOC}_{\text{SC_exp}}$ 分别为储能电池与超级电容设定的最佳 SOC 值, K_{Hess} 为比例系数, 与混合储能系统储能设定的容量有关, 设定的容量越大, 其值越小, 反之亦然。

[0066] 在本实施例中, 风电平抑低通滤波器的滤波系数 T_1 与 SOC 平抑低通滤波器的滤波系数 T_2 相等即截止频率相同, 设为 T

[0067] 则

$$[0068] \quad P_{\text{out_ref}} = \frac{1}{sT+1} (P_{\text{wf}} + P_{\text{adjust}}) \quad (4)$$

[0069] 由公式 (4) 可知, 风电场输出设定功率 $P_{\text{out_ref}}$ 在叠加功率调节值 P_{adjust} 后, 并没有引入超过 $\frac{1}{2\pi T}$ Hz 以上的频率波动成分。

[0070] 由能量守恒定律可得, 混合储能系统设定功率 $P_{\text{Hess_ref}}$;

$$[0071] \quad P_{\text{Hess_ref}} = P_{\text{out_ref}} - P_{\text{wf}} \quad (5)$$

[0072] 由公式 (4)、(5), 可得

$$[0073] \quad P_{\text{Hess_ref}} = \frac{1}{sT+1} P_{\text{wf}} + P_{\text{adjust}} - P_{\text{wf}} \quad (6)$$

[0074] 混合储能系统增加功率

$$[0075] \quad \Delta P_{\text{Hess_ref}} = P_{\text{adjust}} \quad (7)$$

[0076] 可见, 通过加入功率调节值 P_{adjust} , 修订风电场输出设定功率 $P_{\text{out_ref}}$, 达到根据混合储能系统的 SOC 动态调节混合储能系统设定功率 $P_{\text{Hess_ref}}$, 使混合储能系统整体 SOC 得以优化。

[0077] 2、协调控制层

[0078] 协调控制层在考虑超级电容和储能电池的充放电特性的基础上, 制定并执行混合储能系统的功率分配策略, 实现两种储能设备 SOC 的协调控制。

[0079] 在本实施例中, 如图 4 所示, 协调控制层用于将给定的混合储能系统设定功率 $P_{\text{Hess_ref}}$ 在不同的储能单元即储能电池与超级电容之间进行功率分配, 由分配低通滤波器、协调控制器和限值管理器组成。单一使用低通滤波方式进行功率分配会造成储能电池与超级电容的 SOC 极不均衡的现象, 通过加入协调控制器, 在超级电容与储能电池之间进行适当的功率调节, 可以促使二者的 SOC 向最优 SOC 靠拢。二次分配模块通过对初始分配值进行限值, 使最终的设定功率满足储能单元相关指标, 并将限值后出现的功率缺口进行二次分配, 以最小化与混合储能的跟踪差值。

[0080] 2.1、分配低通滤波器

[0081] 混合储能系统设定功率 $P_{\text{Hess_ref}}$ 通过分配低通滤波器进行低通滤波提取其中的低频部分 $P'_{\text{Hess_ref}}$ 。

[0082] 2.2、协调控制器

[0083] 该模块通过调节储能电池的设定功率, 在优先保证超级电容的充放电能力的前提下, 均衡储能电池与超级电容的剩余电量。在功率分配中, 超级电容承担混合储能设定功率值中的频繁波动部分, 由于该部分功率变化较大, 可以充分发挥超级电容大功率输出能力强、循环寿命长、响应速度快的优势。而一般储能电池对于充放电功率的快速变化, 往往会

对其使用寿命造成不可逆的损害,因而由储能电池承担设定功率中的平滑部分,避免或减少由储能电池去承担由于超级电容承担的充放电功率,可以降低频繁充放电造成的小循环充放电现象,有益于延长整个储能系统的使用寿命,提高储能技术的经济性。

[0084] 协调控制器中,功率调节值 $P_{\text{adjust_SC}}$ 的大小由储能电池和超级电容的 SOC 决定。在每个混合储能系统的控制周期内,将超级电容的最佳 SOC 与当前 SOC 进行比较,经比例控制器作用,再通过低通滤波,得到调节量初始值调节功率 $\Delta P'_{\text{SC}}$ 。考虑此时储能电池的状态是否适合参与调节,加入判断条件。当 $\Delta P'_{\text{SC}}$ 为正,即超级电容 SOC 处于高位时,需要放电调整,此时查看储能电池是否有能力接受额外的充电量;当 $\Delta P'_{\text{SC}}$ 为负,即超级电容 SOC 处于低位时,需要充电调整,此时查看储能电池是否有能力接受额外的放电量,如果满足要求,则功率调节值 $P_{\text{adjust_SC}}$ 设置为 $\Delta P'_{\text{SC}}$;否则,功率调节值 $P_{\text{adjust_SC}}$ 设置为 0。

[0085] 2.3、二次分配模块

[0086] 将低频部分 $P'_{\text{Hess_ref}}$ 减去功率调节值 $P_{\text{adjust_SC}}$,得到储能电池的设定功率 P'_{Bat} 即储能电池的初始功率分配值。

[0087] 如图 5 所示,储能电池的设定功率 P'_{Bat} 先经过限值模块,保证其设定功率在储能电池的能力范围内;混合储能系统设定功率 $P_{\text{Hess_ref}}$ 减去限值处理后的储能电池的设定功率 P'_{Bat} 得到超级电容设定功率即初始分配值 P'_{SC} ,经过限值管理器处理,得到最终的超级电容设定功率 P_{SC} ;

[0088] 由于超级电容设定值 P_{SC} 通过限值管理器处理而得, P'_{SC} 与 P_{SC} 可能存在的差异,会造成混合储能实际充放电功率与设定值存在差异,故有必要进行二次分配,即混合储能系统设定功率 $P_{\text{Hess_ref}}$ 减去最终的超级电容设定功率 P_{SC} ,然后进行限值处理,得到最终的储能电池设定功率 P_{Bat} ,使混合储能系统的输出功率尽可能跟踪储能设定值,达到平抑后目标外的功率最小化。

[0089] 最后,用最终的储能电池设定功率 P_{Bat} 以及超级电容设定功率 P_{SC} 去控制储能电池、超级电容的充放电,使风电场的风电功率得到平抑。

[0090] 实例

[0091] 将本发明应用于以超级电容和钒氧化还原液流电池 (VRB) 组成的混合储能系统中。

[0092] 由于风电大部分的波动在 0.01Hz 以上,平抑低通滤波器截止频率取为 0.01Hz。风电场的风电实时功率 P_{wf} 及经平抑低通滤波后的期望输出功率 $P_{\text{out_exp}}$ 如附图 6(a) 所示(时间 1000 秒)。

[0093] 1、风电平抑控制效果

[0094] 本发明与现有技术采用低通滤波方式进行风电功率平抑的风电场实际输出功率如附图 6(b) 所示,可以明显看出,现有技术采用低通滤波的方法在 700 秒后的输出功率曲线出现剧烈波动。其主要原因是混合储能系统的充放电能力不足,致使混合储能系统不能吞吐频率为 0.02Hz 的波动成分。两种方法的混合储能系统平均 SOC 在后期都小于 0.5,如附图 7(a) 所示,而本发明中混合储能系统的设定功率明显小于现有技术的方法,如附图 7(b) 所示,使得混合储能系统的放电功率减小、充电功率增大,从而提高混合储能系统的剩余荷电量。在 900 秒处,本发明方法的混合储能系统平均 SOC 为 0.51 而现有技术的方法为 0.3,二者存在明显差距,说明本发明方法的优化控制层算法在调节混合储能系统充放电能力有

良好的效果。

[0095] 为了验证两种方法的滤波效果,令 P_{wf} 经过低通滤波后的功率曲线为期望功率,对本发明方法、现有技术方法的 P_{out_exp} 及期望功率进行 FFT 分析。如附图 8 所示,本发明方法与期望功率在频率大于 0.02Hz 区间基本拟合且均趋于 0,说明本发明已经完成预期风电平抑效果;而现有技术的方法却在 0.02 ~ 0.12 明显仍有多处远大于 0,说明其平抑后的风电输出功率与储能系统输出的总功率仍含有较多的 0.02Hz 以上的波动成分。

[0096] 2、混合储能分配效果

[0097] 分析在 700-1000 秒内,电池及超级电容的 SOC 和设定功率的变化情况。

[0098] 附图 9(a) 是储能电池的 SOC 对比图,观察可知,储能电池的 SOC 在两种方法中都呈上升趋势,但现有技术的方法出现了三次长时间保持在最低 SOC 20% 的情况,迫使能量管理将电池的发电功率限制为 0,如附图 9(b) 所示,导致储能系统无法完成放电平抑任务。在 760 秒至 960 秒时,储能电池处于较低的 SOC 区间,此时本发明方法的设定功率普遍小于现有技术的方法,增加储能电池贮存能量的机会,其 SOC 增长明显高于现有技术的方法;而在 960 秒后,本发明方法中储能电池的 SOC 大于 0.65 处于高位时,其设定功率又明显高于现有技术的方法,促使 SOC 向设置的最优 SOC 0.55 靠拢。由此可以看出,本发明方法对储能电池的 SOC 调节非常有效。

[0099] 对于超级电容的荷电状态,如附图 10(a) 所示,现有技术方法在 90.7% 的时间内 SOC 处于 0.6 以下,其反馈相应缺额能量的能力明显处于弱势,且多次触底至最小 SOC 10% 处,为了防止超级电容出现过放现象,其设定功率只能限制为 0,如附图 10(b) 所示。

[0100] 附图 11 是超级电容和储能电池的 SOC 概率分布图,可以发现本发明方法中储能电池及超级电容的 SOC 在 0.4 ~ 0.8 区间内概率最大,此处混合储能系统的吸收多余能量及反馈相应缺额能量的能力最均衡。说明分级优化策略能有效地使超级电容及储能电池的 SOC 向设置的最优 SOC 靠拢,并使混合储能系统的荷电状态稳定在一定的范围内,有效避免混合储能系统深充过放。

[0101] 由仿真结果可知,本发明一种基于混合储能的风电功率平抑方法能够在保持风电功率波动平抑效果不变的情况下,保证混合储能系统整体充放能力,充分利用超级电容反应快和储能电池容量大的特点,维持混合储能系统 SOC 在合适范围,避免超级电容和储能电池过充过放。

[0102] 本发明的优点是:

[0103] 1. 根据风电场对平抑功率波动的性能要求,设计优化控制层,使得混合储能系统能够完成对风电场输出功率波动的平抑,并能维持其整体较高的充放电能力,提高有效运行的时间。

[0104] 2. 根据混合储能系统中超级电容和储能电池各自的 SOC 状态和充放电特性,设计协调控制层,完成对优化控制层给出的设定功率的优化分配,实现超级电容和储能电池的 SOC 协调控制及其对设定功率的快速跟踪,同时避免了对储能设备的深充过放,延长使用寿命。

[0105] 尽管上面对本发明说明性的具体实施方式进行了描述,以便于本技术领域的技术人员理解本发明,但应该清楚,本发明不限于具体实施方式的范围,对本技术领域的普通技术人员来讲,只要各种变化在所附的权利要求限定和确定的本发明的精神和范围内,这些

变化是显而易见的,一切利用本发明构思的发明创造均在保护之列。

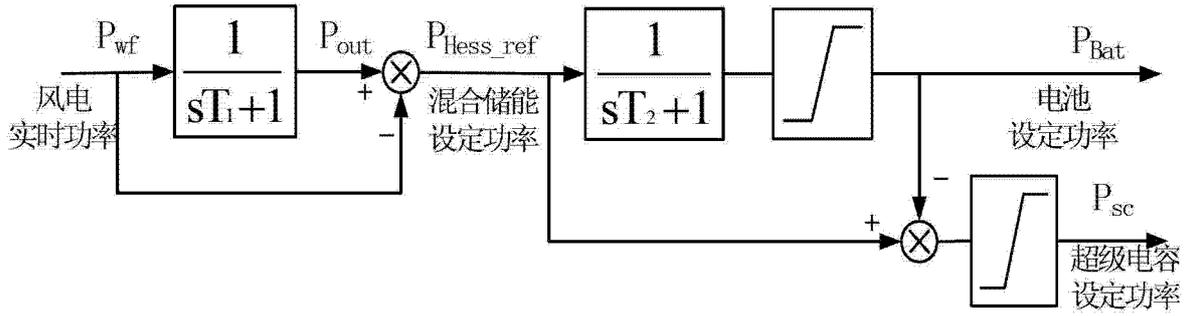


图 1

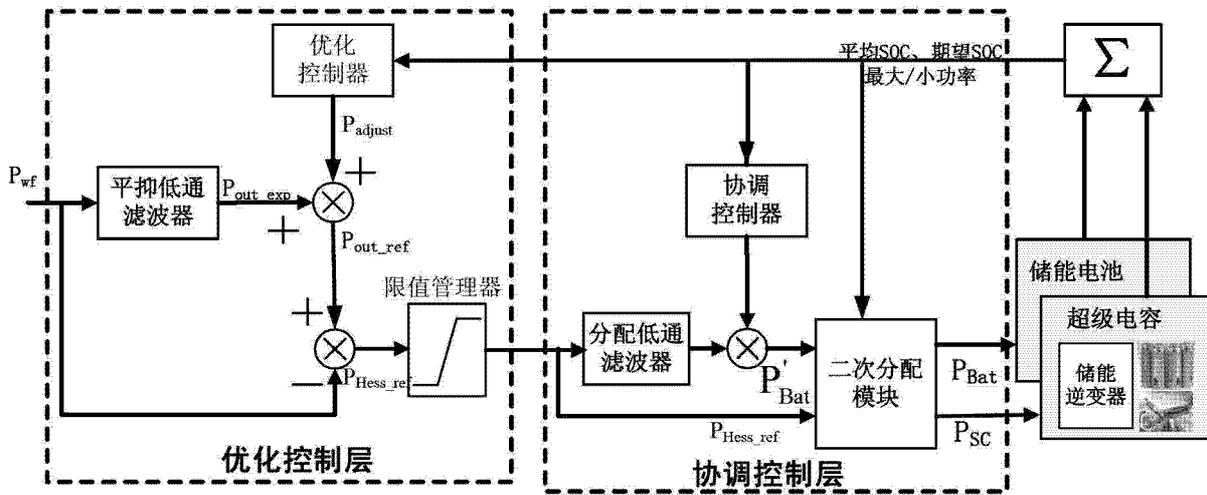


图 2

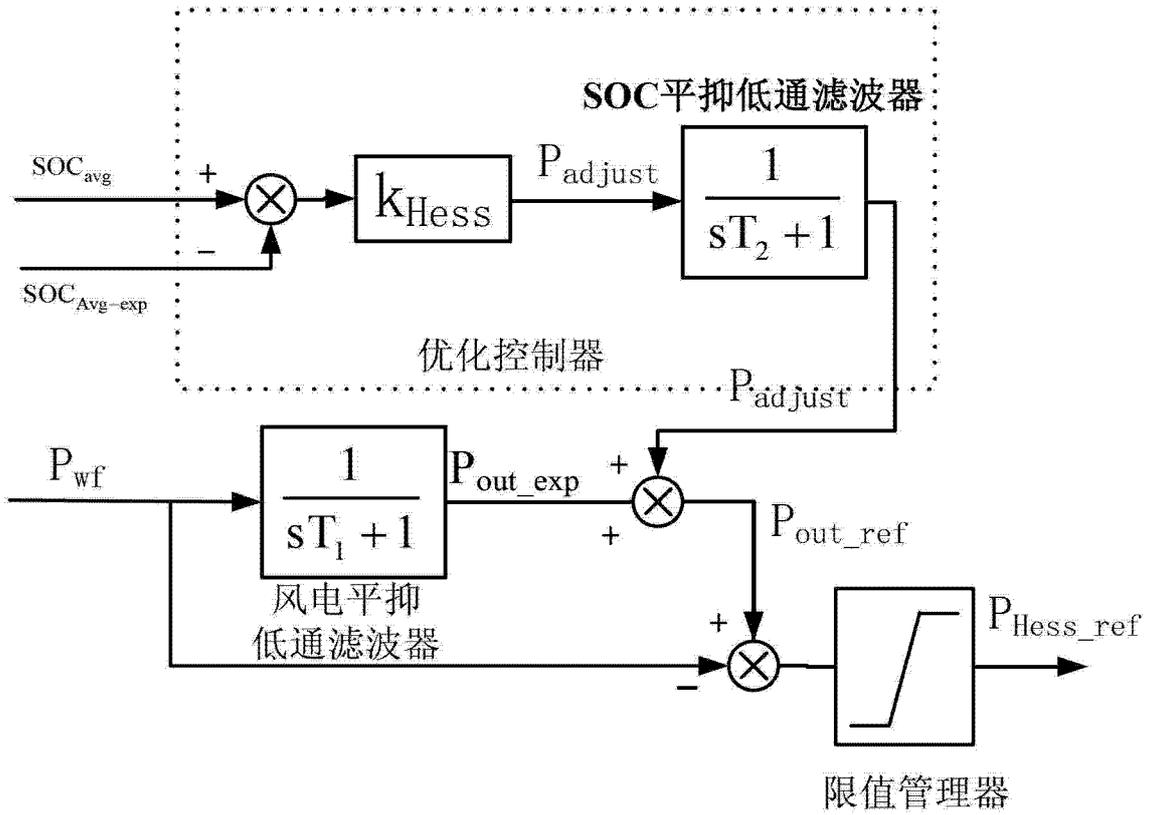


图 3

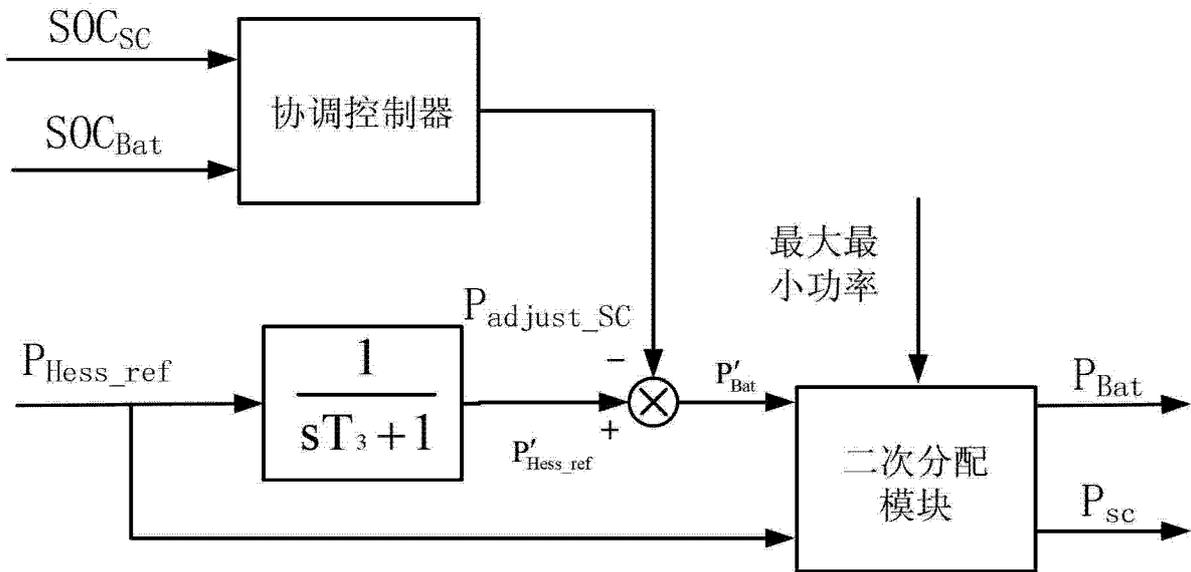


图 4

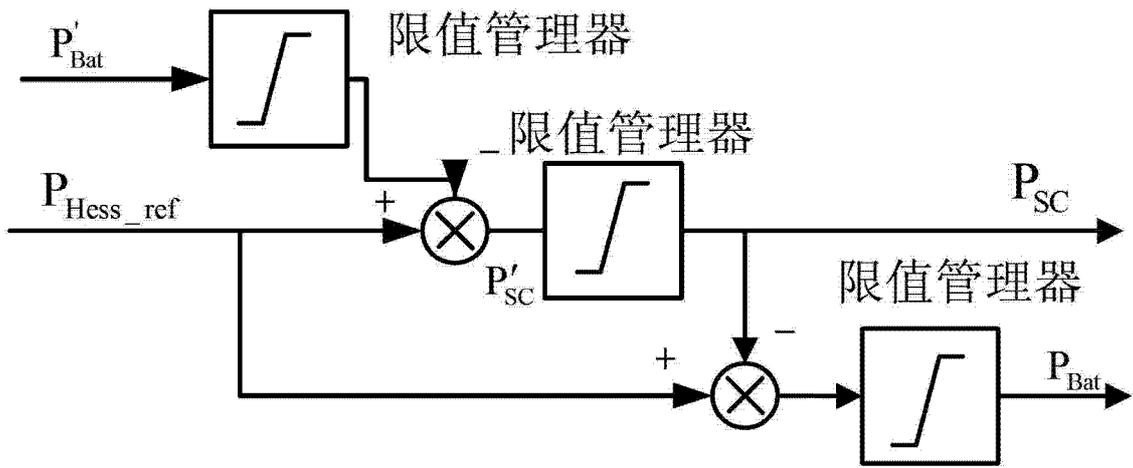
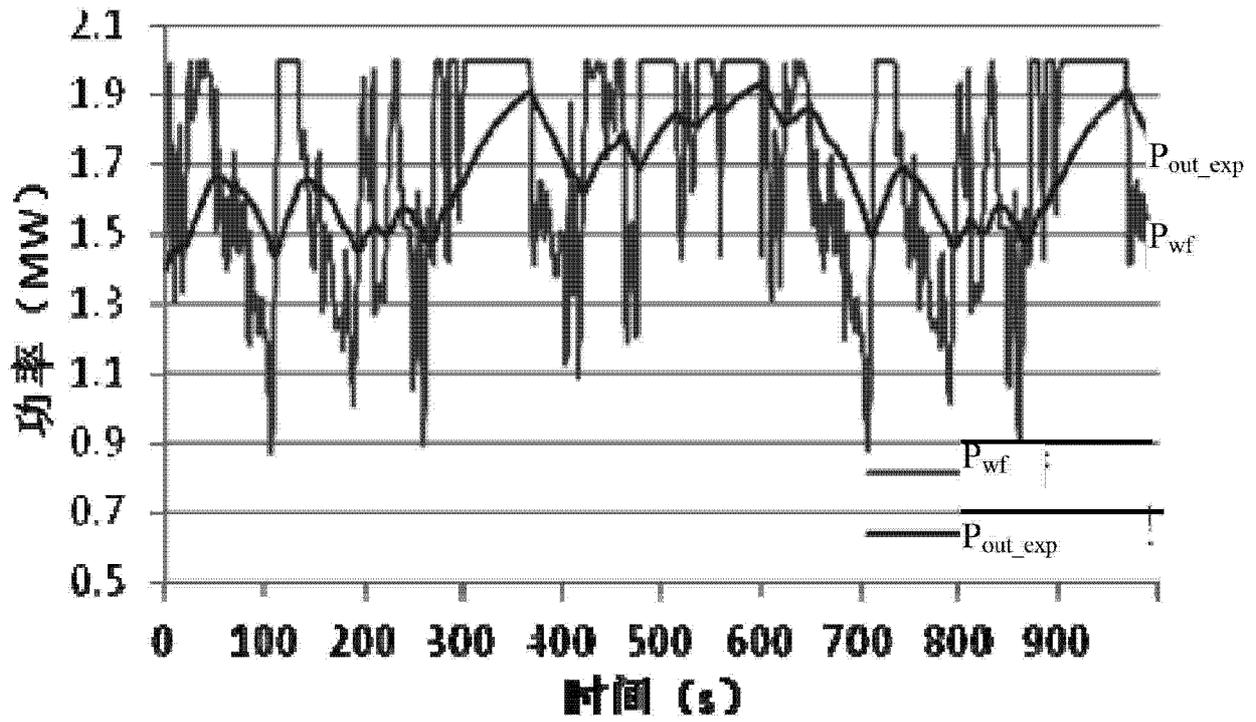
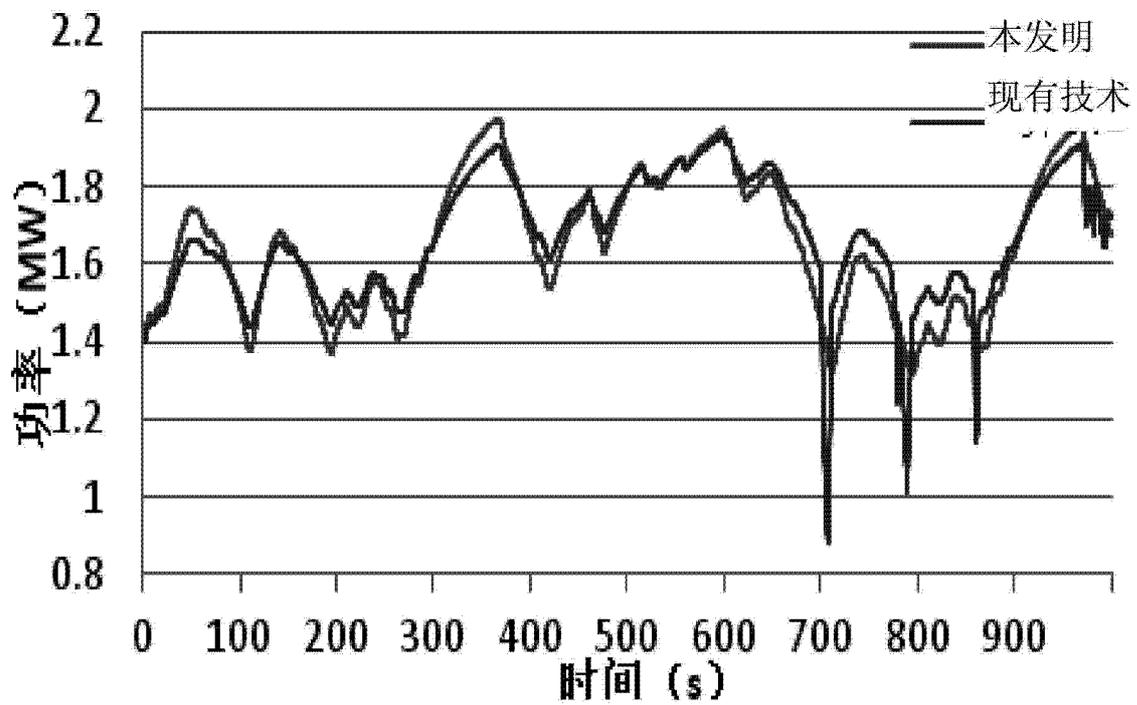


图 5

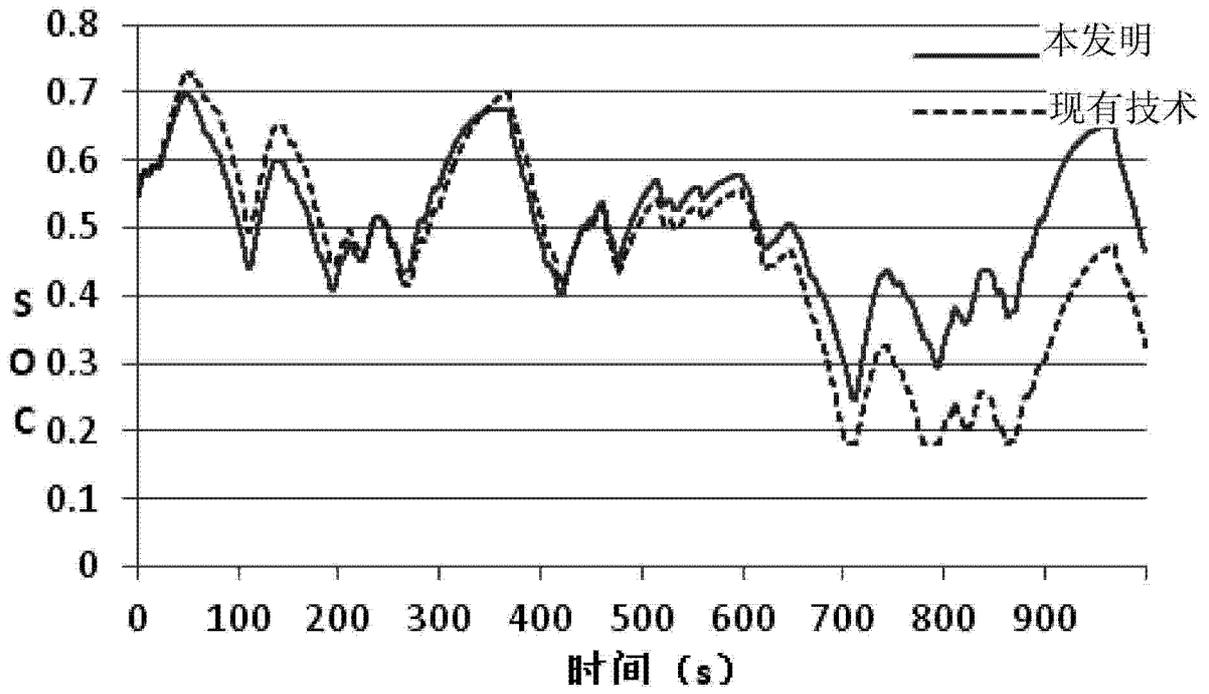


(a)

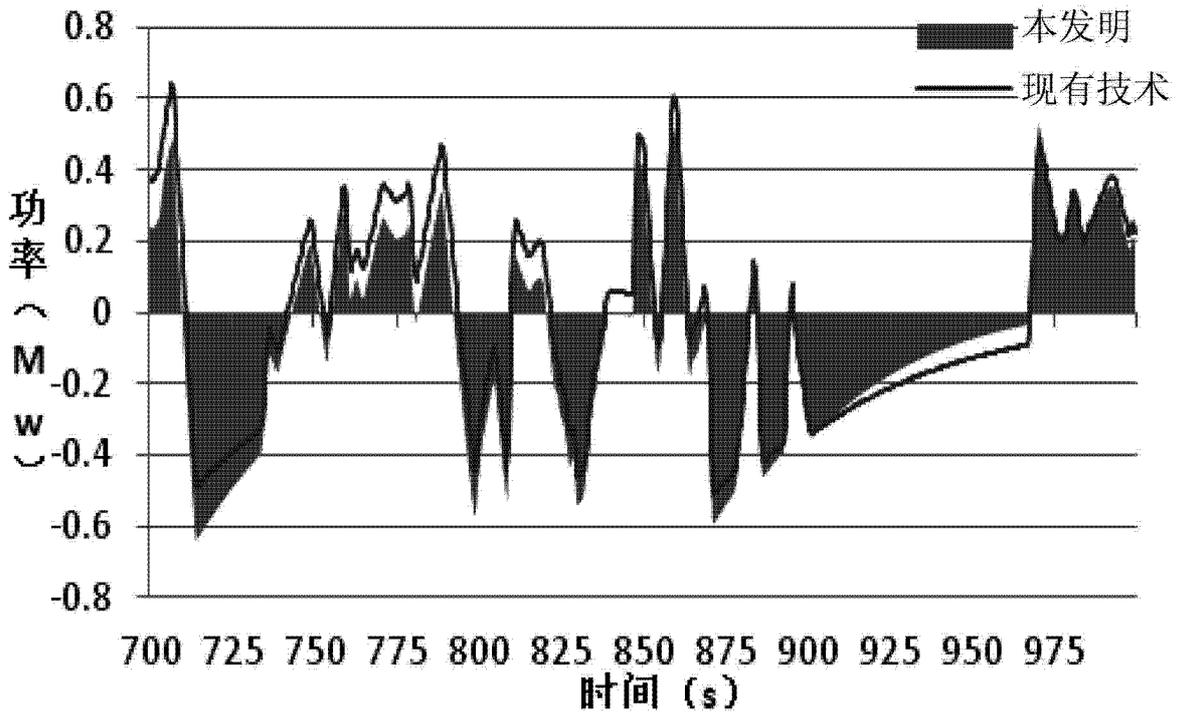


(b)

图 6



(a)



(b)

图 7

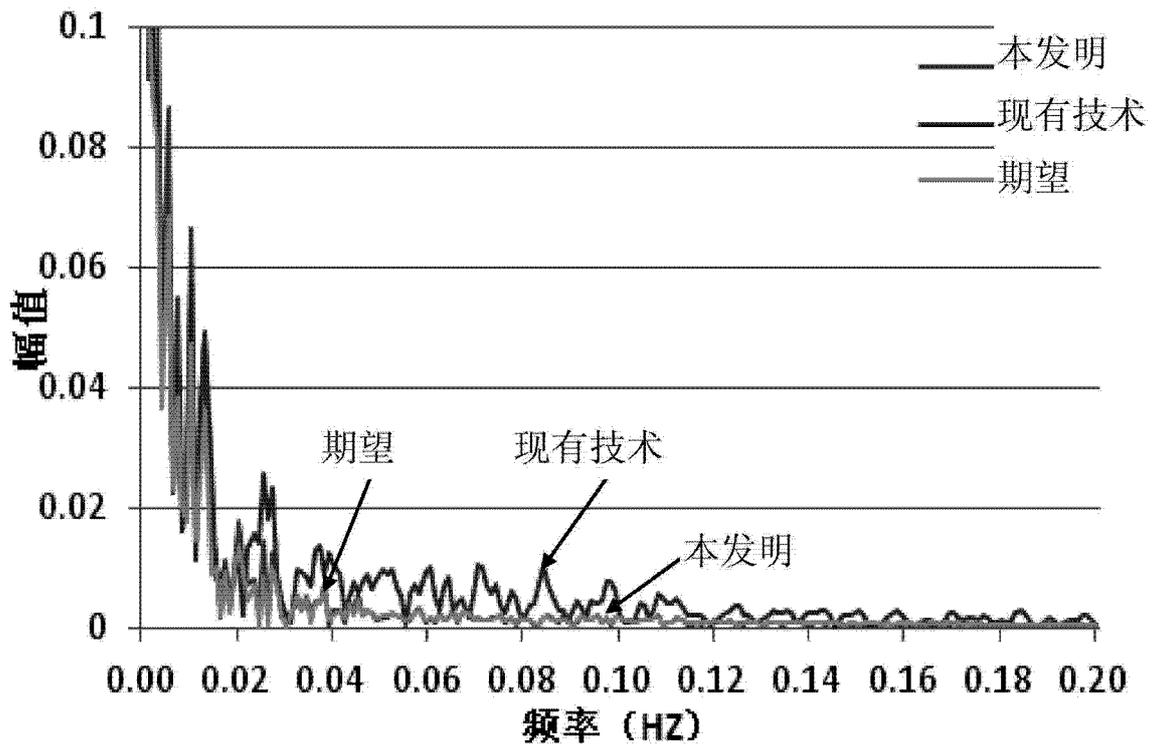
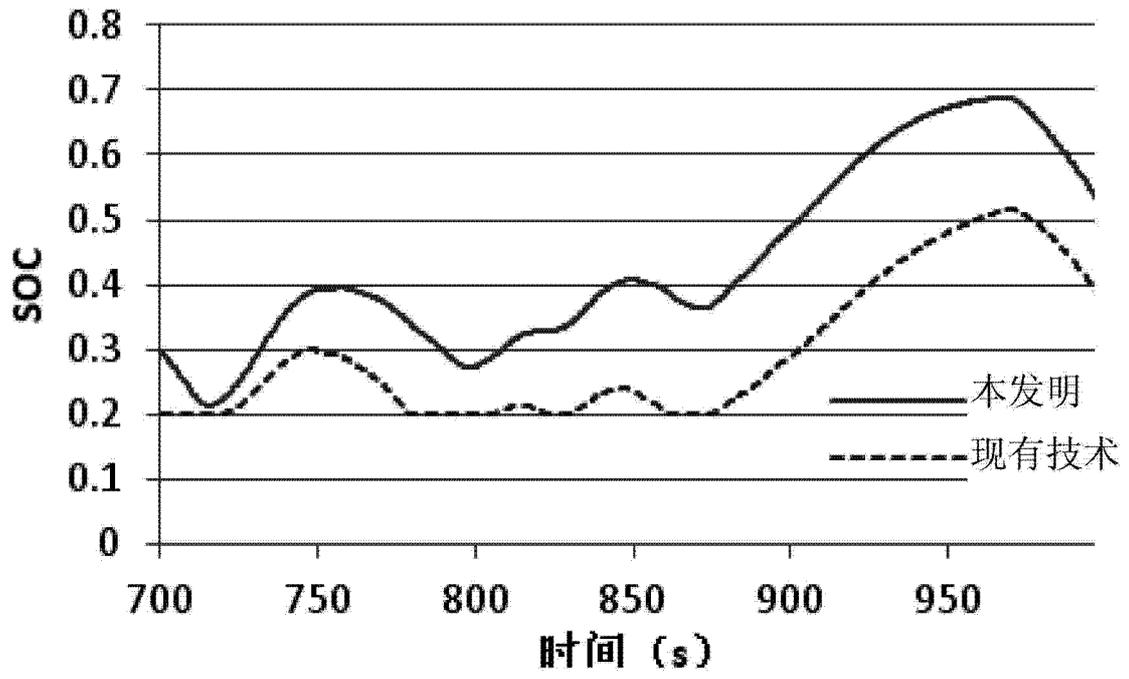
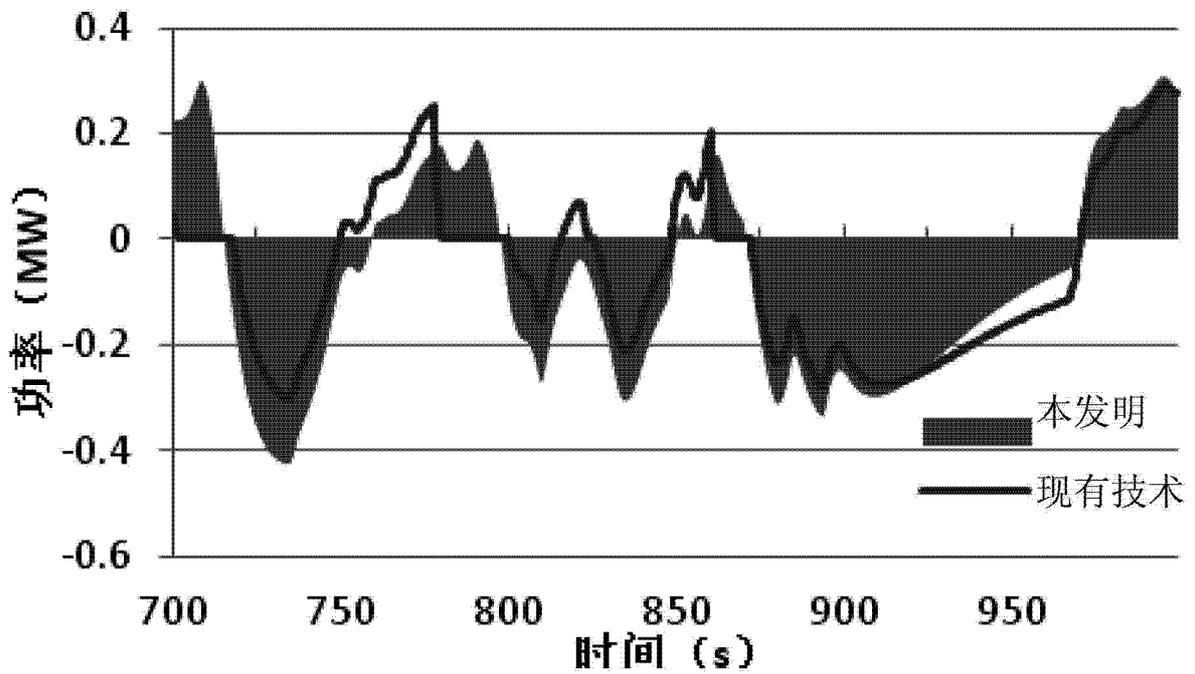


图 8

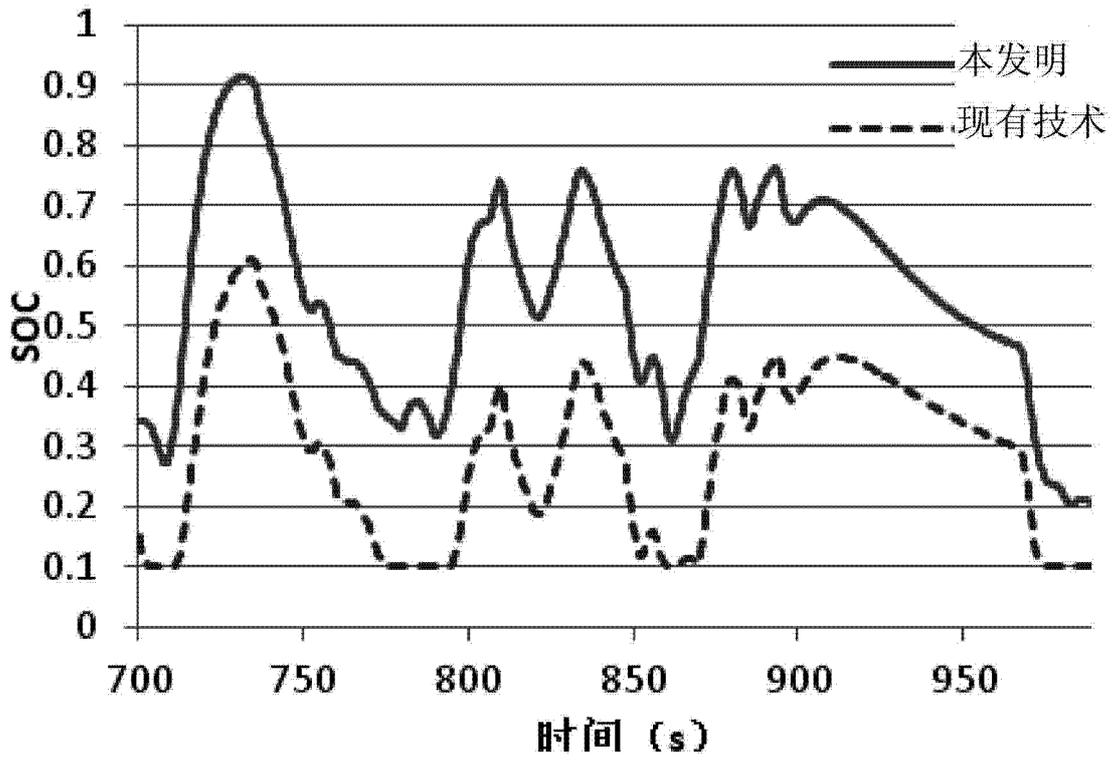


(a)

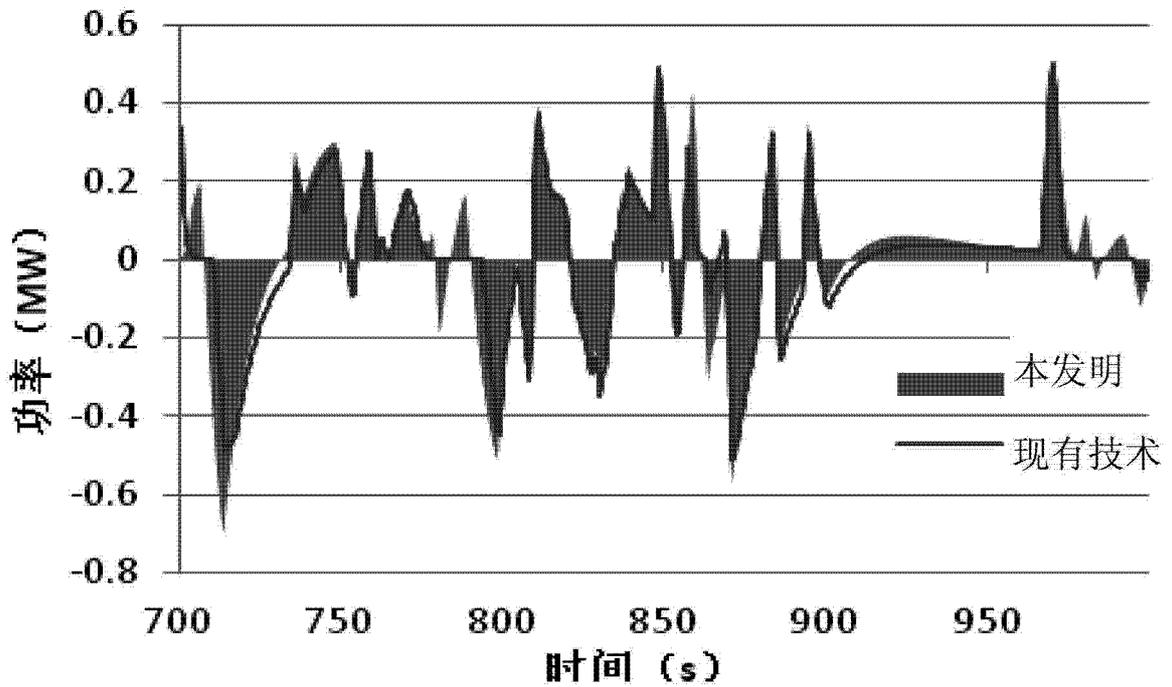


(b)

图 9

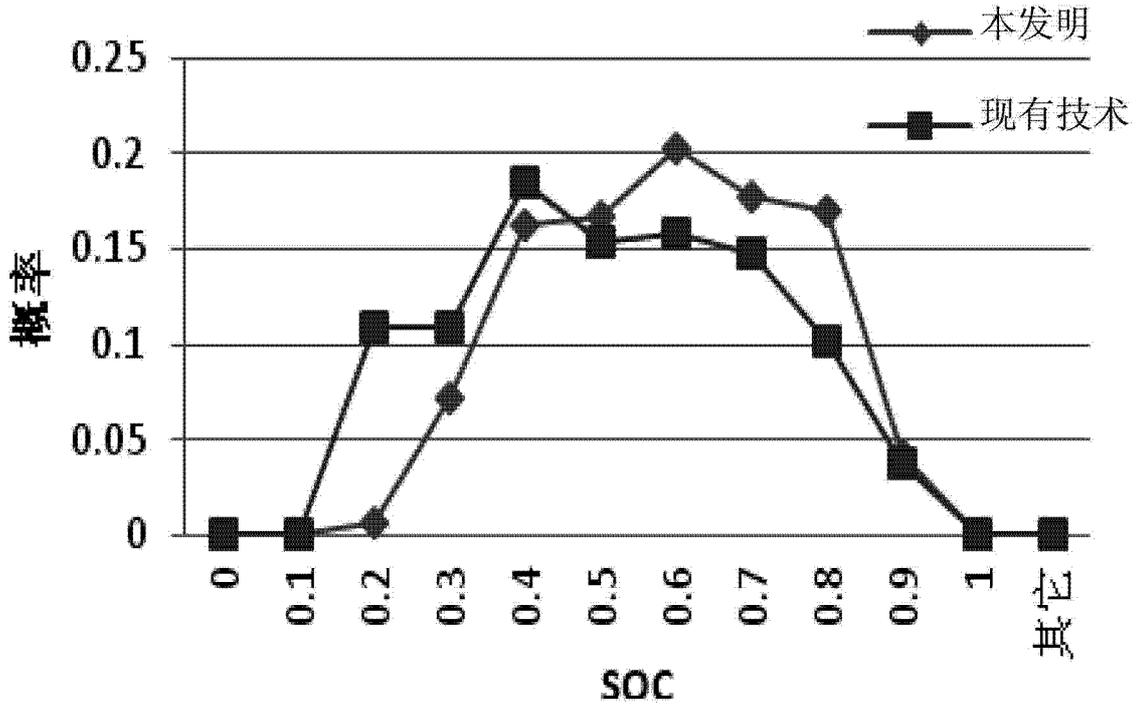


(a)

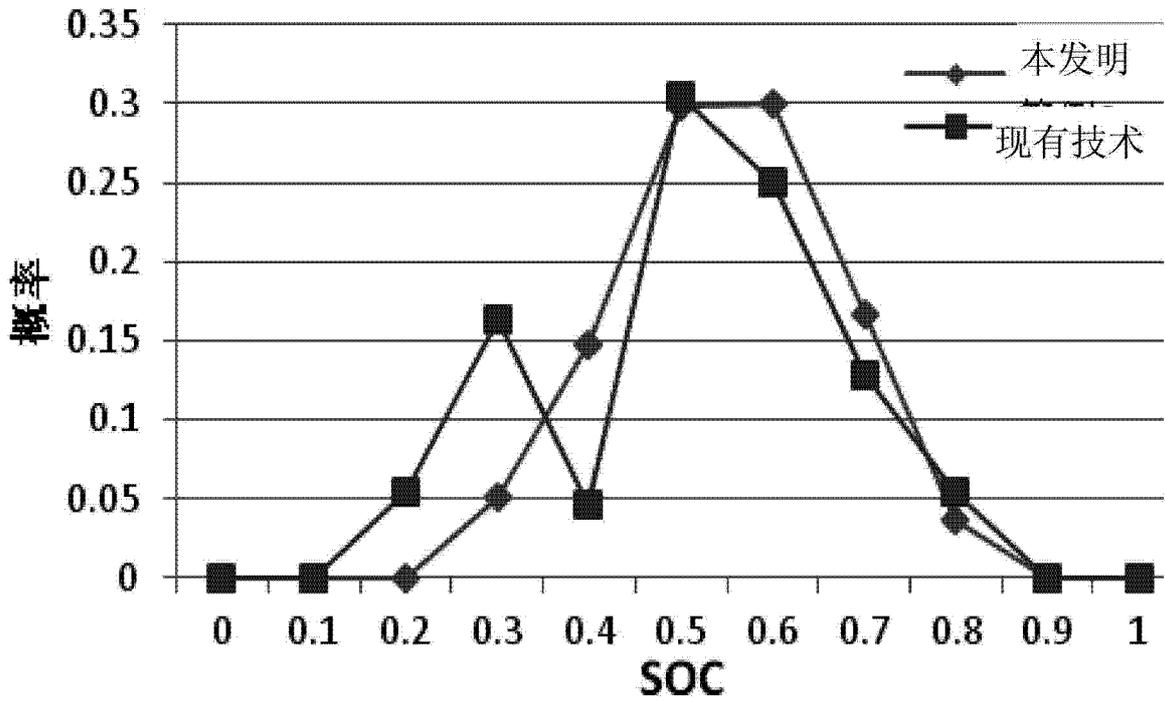


(b)

图 10



(a)



(b)

图 11