

DOI: 10.7500/AEPS20xxxxxxxx

基于滑动最小二乘算法和电池荷电状态的储能系统平滑控制策略

谢涛¹, 曹军威², 高田², 万宇鑫²

(1. 北京工商大学计算机与信息工程学院 北京 100048; 2. 清华大学信息技术研究院 北京 100084)

摘要:利用电池储能系统平滑间歇式电源的输出功率波动可以提高该类电源输出功率的稳定性。本文提出一种基于滑动最小二乘算法和电池荷电状态的电池储能系统实时控制策略, 通过滑动最小二乘拟合算法确定储能系统的功率输出量, 并辅助以荷电状态和最大波动功率限制调节, 从而有效降低平滑控制过程中电池的充放电深度。实验结果显示, 与传统基于滤波算法的控制策略相比, 在获得相同平滑效果的情况下, 新的控制策略具有更小的荷电状态波动量, 可以较大程度降低所需电池容量, 并延长电池的寿命。

关键词: 间歇式电源; 电池储能系统; 平滑控制; 滑动最小二乘算法; 荷电状态

0 引言

风力发电、光伏发电等可再生能源发电的输出功率会跟随外界变化而具有较大的波动性, 随着在电网中的渗透率提高, 其对传统电网的安全性、稳定性、电能质量等多方面造成了冲击和影响, 国内外都对此进行了规范^[1-2]。在间歇性电源出口配置一定容量和功率的储能装置, 可以有效抑制输出功率的波动及骤变, 提高并网稳定性和调度性, 增强此类可再生能源发电的可利用性^[3-4]。鉴于目前储能装置的成本较高, 使用寿命较短, 如何利用有限容量的储能系统平滑波动性功率输出, 并保证储能系统的安全持续运行, 对控制提出了较高的要求。

文献[5]采用一阶低通滤波原理进行平滑控制, 并加入了基于电池荷电状态(SOC)的反馈环节。之后, 文献[6-8]将电池的SOC反馈到一阶低通滤波器的时间常数中, 其中文献[6-7]通过SOC值实时确定滤波器的时间常数, 文献[8]则根据SOC调整混合储能的出力值, 保护充电电池。文献[9-10]研究采用加权移动平均算法对风电场的功率波动进行平滑, 其中文献[9]中根据电池SOC和功率波动程度通过模糊控制调整算法中的权重及窗口宽度, 达到维持SOC合理水平的同时平滑功率波动; 文献[10]则根据蓄电池和超级电容器的特性实时调节算法中的窗口宽度, 调整混合储能的功率分配, 实现平滑功率波动。文献

[11]改变传统对原始数据进行滤波获得参考功率的方式, 实现了基于指数平滑方式的并网光伏电站功率平滑控制。文献[12]更多的在控制过程中考虑了储能电池的状态, 从而尽可能平滑功率波动的同时增强了对电池持续工作状态的优化。文献[13-14]进一步采用了模型预测控制实现平滑风电场的功率波动, 在控制过程中加入了电池储能系统的容量和功率作为约束。目前平滑控制多采用储能电池作为能量存储介质, 而电池存在价格较高, 使用寿命较短的缺点。电池的寿命主要是由充放电深度决定的, 浅充浅放有助于延长电池的使用寿命^[15], 同时也意味着在平滑控制过程中降低了对电池容量的需求, 因此, 研究有效的控制策略实现在平滑控制过程中降低电池的充放电深度具有重要的理论和工程意义。

本文提出基于最小二乘算法的平滑控制策略, 通过利用所提出的滑动最小二乘拟合算法获得并网功率参考值, 所获得的并网功率参考值可作为局部功率补偿量的优化解, 使充放电的深度和容量在统计意义上最小化。兼顾平滑效果和对电池的保护控制, 根据储能电池的SOC值和功率波动限制对并网功率参考值进行调整, 最终实现通过储能抑制平滑间歇式能源并网功率的波动。所提控制策略能够在控制并网功率平滑度的同时, 有效降低电池充放电的深度。

1 传统储能平滑控制系统

利用储能系统对间歇式电源输出的功率进行平滑处理的基本原理是通过实时调节储能系统的输出

收稿日期: ; 修回日期:
国家重点基础研究发展计划(973计划)资助项目(2011CB302805, 2013CB228206)。

功率,对间歇式电源输出功率中高频段的波动成分进行补偿,以达到平滑间歇式电源输出功率的目的,集成了电池储能系统(BESS)的间歇式电源系统结构如图1所示。

本文以风力发电机组代表间歇式电源,以下的分析也采用风力发电实测数据。

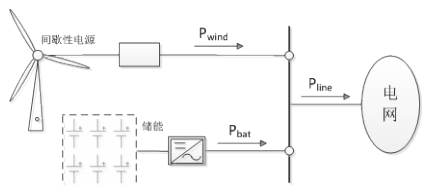


图1 集成储能的间歇式电源系统
Fig.1 Intermittent power sources with BESS

图1中： P_{wind} 表示风力发电输出功率； P_{bat} 表示电池输出功率， P_{line} 则是连接到电网的联络线功率。

图1所示的系统，由基尔霍夫定律可得：

$$P_{wind} + P_{bat} - P_{line} = 0 \quad (1)$$

以基于滤波原理的风力发电输出功率平滑控制为例说明储能平滑控制的基本原理。控制平滑图2所示是利用一阶巴特沃兹低通滤波器实现对间歇式电源功率平滑控制的基本框图,该方法中滤波器的时间常数可以固定,也可以通过储能装置的状态实时调整^[6-7]。波动的风电输出功率 P_{wind} 通过低通滤波器之后得到一个功率参考值 P_{ref} ， P_{ref} 是期望平稳输出到联络线上的功率值，如果储能装置可以提供功率 $P_{bat}=P_{ref}-P_{wind}$ ，则联络线功率达到期望的 $P_{line}=P_{ref}$ 。其中， $P_{bat}>0$ 表示电池放电， $P_{bat}<0$ 表示电池充电。

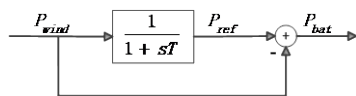


图2 基于低通滤波器的基本控制框图
Fig.2 Basic control block diagram based on low pass filter

图1所示物理系统通过图2所示的控制系统实现平滑控制,输出结果如图3所示,图中包含原始风力发电输出功率波形以及基于低通滤波原理获得的并网参考功率波形。图中的细实线描绘了1天内风力发电机组输出的功率,可见具有较大波动的特性,粗虚线描绘了产生的并网参考功率曲线,在电池储能系统提供 P_{wind} 和 P_{ref} 之间部分的功率后 $P_{line}=P_{ref}$ 。

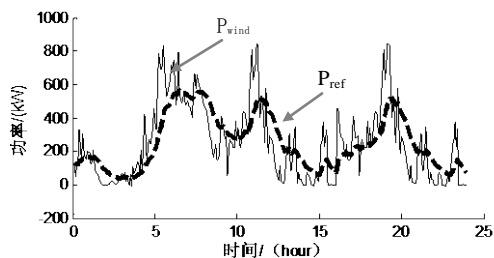


图3 基于低通滤波算法的平滑控制输出
Fig.3 Curves of smoothing control output based on low pass filter algorithms

经过一阶巴特沃兹低通滤波器后,相对于 P_{wind} ， P_{ref} 曲线产生了延迟,这种延迟使储能系统需要较大的容量对原始功率进行平滑处理,而这种延迟特性也正是较大电池充放电深度产生的根源。除了上述基于巴特沃兹低通滤波器原理的平滑控制策略,基于加权平滑滤波算法的控制策略也具有其本质的输出延迟性,因此也需要较大的储能容量实现平滑功能。

2 基于最小二乘算法的储能控制策略

2.1 基本控制策略的提出

本文采用最小二乘拟合算法,期望获得位于功率波动中心位置的平滑参考功率曲线,以尽可能减少电池充放电的动作深度,从而降低对储能容量的需求。这一目标可以转换成优化目标:要求一段时间内的电池的充电功率和最小,并且放电的功率和也最小。

设 $P_{wind}(k)$ ($0 < k \leq N$)为一段时间内离散采样的风电输出功率,其中, N 为采样的功率点数。则优化目标可表示成式(2)和式(3)。式(2)中 J_1 表示大于参考值的实际风电功率数据与参考值的均方差之和,式(3)中 J_2 表示小于参考值的实际风电功率数据与参考值的均方差之和。

$$J_1 = \sum (P_{wind-h} - P_{ref})^2 \quad (2)$$

其中:

$$P_{wind-h} \in P_{wind}, \text{ 且满足 } P_{wind-h} > P_{ref}。$$

$$J_2 = \sum (P_{wind-l} - P_{ref})^2 \quad (3)$$

其中:

$$P_{wind-l} \in P_{wind}, \text{ 且满足 } P_{wind-l} < P_{ref}。$$

如果可以同时满足 $\min(J_1)$ 和 $\min(J_2)$,可以认为在这段时间内对电池的充电功率和放电功率最小,而 $\min(J_1+J_2)$ 即是最小二乘问题求解。

由此可得,可以针对 $P_{wind}(k)$ 进行最小二乘多项式拟合处理,获得曲线上的离散点 $P_{ref}(k)$,所得 $P_{ref}(k)$

代表了距离 $P_{wind}(k)$ 最近的点集合, 即 $P_{ref}(k)$ 的所有点在一条曲线上, 而该曲线具备的特性是距离 $P_{wind}(k)$ 所有点的均方差最小, 意味着统计意义上电池充放电的功率达到最小。

2.2 滑动最小二乘拟合算法及控制策略

由 2.1 的分析得出, 通过最小二乘拟合可以获得一段时间内电池充放电功率动作深度最小的 P_{ref} , 然而, 常规最小二乘拟合仅仅适用于对历史数据的处理, 针对间歇式电源功率平滑实时控制问题, 本文提出一种滑动最小二乘拟合算法, 以实时获得 $P_{ref}(k)$ 。

取 k 时刻实时获得的风电功率数据 $P_{wind}(k)$, 及 k 时刻之前连续的 $NI-1$ 个风电功率数据构成式 (4), 通过最小二乘拟合算法可获得多项式方程 $\varphi_k(x)$ 使得 $\min(J_k)$, 则 $P_{ref}(k)=\varphi_k(k * \Delta t)$, 其中 Δt 为计算窗口, NI 为滑动窗口宽度。

$$J_k = \sum_{i=k-NI+1}^k (P_{wind}(k) - \varphi_k(k))^2 \quad (4)$$

根据线性最小二乘拟合的原理, 由式 (4) 获得的 $P_{ref}(k)$ 是局部数据获得的优化结果, 如果在 $NI * \Delta t$ 时间段内功率数据波动较小, 则式 (4) 中满足 $\min(J_k)$ 的 $\varphi_k(x)$ 和满足 $\min(J_{k+1})$ 的 $\varphi_{k+1}(x)$ 差异也较小, 此时 $\varphi_{k+1}(k+1)$ 可以看做是下一步调整过程中满足最小能量波动的 $P_{ref}(k+1)$ 。反之, 如果该时间段内功率数据波动较大, 则 $\varphi_{k+1}(x)$ 相对于 $\varphi_k(x)$ 是摒弃最旧的功率数据并加入最新功率数据获得的拟合, 具备跟随最新功率数据变化趋势的特性, 通过滑动最小二乘拟合算法获得的参考功率全局上并不一定是功率波动最小的曲线, 却可以认为是符合局部区域功率最小的参考功率值。考虑到该方法对部分功率的聚变不具有平滑性, 可采取输出功率限制, 使 ΔP_{ref} 变化不会太剧烈, 以符合平滑控制的需要。图 4 给出了基于该控制策略的实现流程。

实现最小二乘拟合的过程中, 可以使 $\varphi_k(x)$ 是线性的或者是非线性的, 在本文的章节 4 将对这个问题进行专门的分析。

根据图 4 所示的流程图, 设滑动窗口宽度为 NI , 在起始时刻, 功率数据长度小于 NI 时, 采取最大可用的数据长度进行运算, 及至功率数据长度达到 NI 时, 开始采取窗口宽度为 NI 的拟合运算。通过最小二乘拟合算法获得功率参考值后, 与前一时刻联络线功率值对比, 如果超出了允许的最大波动量则需以最大波动量作为调节量, 最后给出的期望电池充放电功率要根据电池的 SOC 值进行调整后送给储能装置。

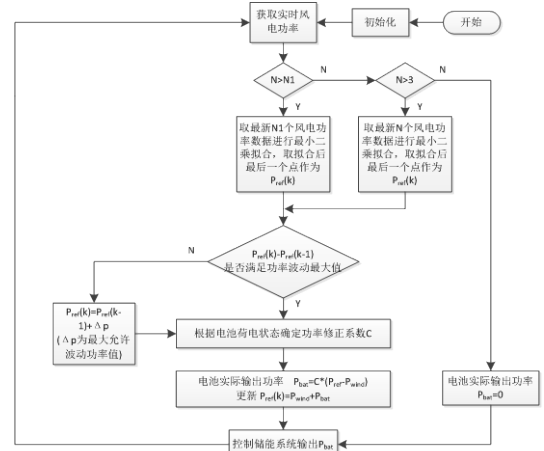


图 4 BESS 控制的实现流程
Fig.4 Software procedure flowchart of BESS control

滑动窗口宽度 NI 可采取固定的方式, 初始设定根据联络线功率的波动进行调整, NI 越大则平滑的效果越好, 但也会降低参考功率曲线对原始功率的快速跟随性能, 所需电池充放电功率也越偏离实际的最小功率曲线。

3 SOC 调节器设计及特性分析

3.1 SOC 调节器设计

储能电池的充放电过程应当实时考虑电池当前的 SOC 水平以及这一时刻的功率指令状况。在图 4 的控制流程中, 对获得的 P_{bat} 乘以一个修正系数 c , 修正系数 c 的作用就是根据当前 SOC 水平及功率指令状况对实际电池输出功率进行调整, 本节提供 SOC 调节器设计。

根据电池的工作特性, 电池充放电功率采取以下规则进行修正:

- 1) 当 SOC 较大时, 表示储能趋于饱和, 可充分放电而尽可能少充电或者不充电, 可通过保持电池放电功率而逐渐减小充电功率实现。
- 2) 当 SOC 较小时, 表示储能不足, 可充分充电而尽量少放电或者停止放电, 可通过保持电池充电功率而逐渐减小放电功率实现。

本文所设计的 SOC 调节器采用坐标图形给出, 如图 5 所示, 其中 SOC 值根据文献 [16] 中提供的方法进行计算。

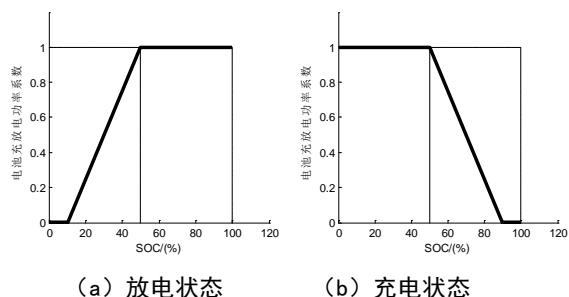


图 5 充放电工况下功率修正系数

Fig. 5 Power correction factor under charge and discharge modes

放电状态时：当 SOC 小于电池最小允许放电深度（此处定为 10%，可根据电池实际参数调整）时，功率修正系数 $c=0$ ，使电池放电功率为零；当 SOC 大于电池最小允许放电深度并小于最优调节 SOC 值（50%）时，功率修正系数 c 从 0 到 1 均匀增大；当 SOC 大于 50% 时，功率修正系数 $c=1$ ，电池可按照平滑控制需要的功率放电。

充电状态时：当 SOC 大于电池最大允许充电深度（此处定为 90%，可根据电池实际参数调整）时，功率修正系数 $c=0$ ，使电池充电功率为零；当 SOC 大于最优调节 SOC 值（50%）并小于电池最大允许充电深度时，功率修正系数 c 从 0 到 1 均匀减小；当 SOC 小于 50% 时，功率修正系数 $c=1$ ，电池可按照平滑控制需要的功率充电。

3.2 SOC 调节器的性能分析

针对 3.1 所设计 SOC 调节器的性能进行测试。首先针对该 SOC 调节器在控制过程中 SOC 变化曲线的收敛性进行测试，分别将初始 SOC 值设置为 10%、50% 和 90%，利用原始风电功率数据，进行测试。

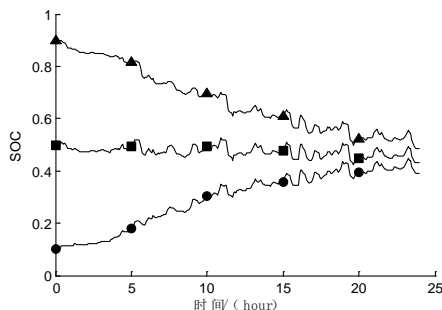


图 6 不同初始值的 SOC 曲线

Fig. 6 Curve of SOC under different initial values

测试结果如图 6 所示，无论初始 SOC 值如何，最终 SOC 调节器都尽量将电池的 SOC 调节到 50% 左

右，以有利于应对下一步未知的充放电工作。表明该 SOC 调节器对控制过程中储能电池的 SOC 状态具备较好的调节能力。

以上所分析 SOC 调节器的收敛性是在充放电波动较小的情况下进行，并未显示出电池在输出电量较大情况下的调节性能，此处，保持原始风电测试数据不变，降低储能电池的容量，对有、无 SOC 调节器的状况进行分析，结果如图 7 所示。图 7 中，粗实线显示为有 SOC 调节器时控制过程中的 SOC 变化，细实线显示为无 SOC 调节器时控制过程中 SOC 变化。可见，有 SOC 调节器的控制系统抑制了电池荷电状态向两极方向的偏移，有效避免电池的过充和过放。

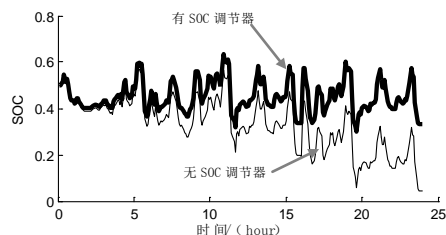


图 7 有无 SOC 调节器荷电状态趋势

Fig. 7 State of charge trends comparison between with and without SOC regulator

结果表明本文所设计的 SOC 调节器对储能电池的 SOC 产生了期望的调整效果，电池充放电深度较小时可以将 SOC 实时调整到中心的位置，为下一阶段的平滑控制提供最大电池容限，而电池充放电深度较大时又可以在尽可能提供平滑功率的同时有效避免电池的过充和过放。

4 算例分析

4.1 采取线性拟合算法和非线性拟合算法的控制策略分析

算例中间歇性电源输出采用某额定功率为 1MW 的风力发电机组五月份 1 天的实际输出功率数据。储能系统的储能介质采用国内外逐渐普及应用的锂离子电池，电池额定容量为 800kWh，额定放电功率不小于 200kW，允许充放电深度 10%~90%，初始荷电状态设为 50%^[17]。计算窗口时长 Δt 取 5min，滑动窗口宽度 NI 取 5，要求间歇性电源输出功率波动不超过额定功率的 20%/10min。

首先采用 2 次多项式拟合算法，按照 2.2 中所描述的算法流程，针对上述算例进行分析，输出结果如图 8 所示，其中图 8 (a) 所示为联络线功率波形，

图 8 (b) 所示为电池充放电电量变化波形,其中大于零的部分代表电池充电,小于零的部分代表电池放电。

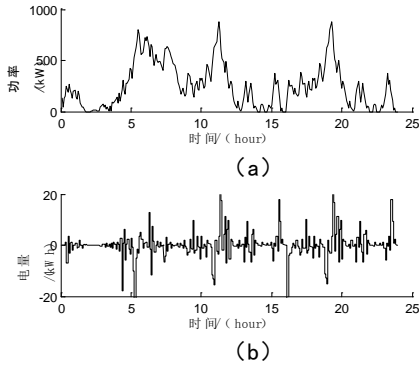


图 8 联络线功率及电池充放电电量曲线 1
Fig. 8 Curve 1 of line power and battery charge and discharge power

将上述分析中的 2 次多项式拟合算法换成线性拟合算法,进行相同的实验,结果如图 9 所示。

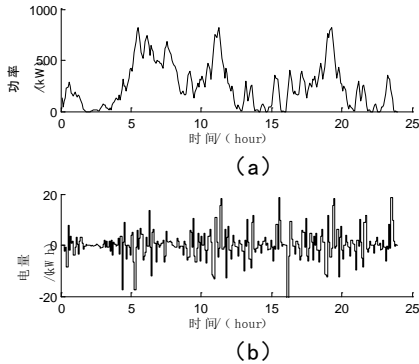


图 9 联络线功率及电池充放电电量曲线 2
Fig. 9 Curve 2 of line power and battery charge and discharge power

分别将图 8 (b) 和图 9 (b) 中的电池充放电电量进行统计,可得采用 2 次多项式拟合算法时,控制过程中电池组充放电电量之和总计 848kWh,而采用线性拟合算法时,控制过程中电池组充放电电量之和总计 1059kWh。

基于同样的储能系统,采用线性拟合算法的控制流程所获得联络线功率曲线略微平滑,但采用 2 次多项式拟合算法的控制流程电池的充放电电量较小,可见采取采用 2 次多项式拟合算法的控制流程更符合电池浅充、浅放的特性,可延长电池的使用寿命。

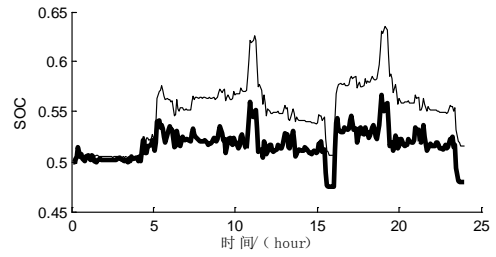


图 10 基于不同拟合算法的 SOC 曲线对比
Fig. 10 SOC comparison between different fitting algorithms

通过对比图 10 所示 SOC 曲线,分析采取不同拟合算法对电池容量需求的影响,图 7 中粗实线所示采用 2 次多项式拟合算法的控制过程中 SOC 曲线的波动性要小于采用线性拟合算法控制过程中 SOC 曲线的波动性。

综上所述可以得出,在 $NI=5$ 的条件下,2 次多项式拟合算法在控制过程中可以产生更好的控制效果。

4.2 与其它控制策略的性能比较

采取与 4.1 相同的算例参数,对比基于 2 次多项式拟合算法和传统滤波算法的控制策略对电池容量的需求和电池充放电电量。基于 2 次多项式拟合算法的控制策略产生的 SOC 曲线如图 11 中的粗实线所示,基于滤波算法的控制策略产生的 SOC 曲线如图 11 中的细实线所示。

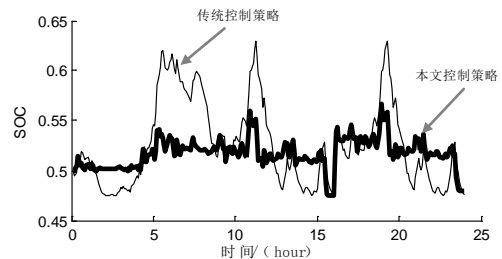


图 11 基于不同控制算法的 SOC 曲线对比
Fig. 11 SOC trends based on different control algorithms

计算结果显示,传统控制策略在所示 1 天的控制过程中 $MAX(SOC)-MIN(SOC)$ 值为 15.6%,基于新策略的控制过程中该值则降低为 9.2%,表明新的控制策略比传统控制策略对电池容量的需求降低了 40%。相应的,统计传统控制策略在所述 1 天的控制过程中电池组充放电电量之和总计 1412kWh,与此相比,4.1 分析中所得出的 848kWh 和 1059kWh 都具有较大程度的改善效果,尤其是采用基于 2 次多项式拟合的控制策略其充放电总电量降低了 40%。可见,相比于传

统控制策略,本文所提的控制策略在电池容量需求和电池充放电深度上都有了大幅度的改善。

5 结语

利用储能系统可以抑制风力发电、光伏发电等间歇式可再生能源发电系统对电网运行的不利影响,由于目前储能设备的成本较高,合理使用和保护储能系统也就具备较为重要的经济和工程意义。本文提出一种基于滑动最小二乘拟合算法和电池 SOC 的储能控制策略,可在间歇性电源输出的波动功率中实时寻找使电池充放电电量之和最小的参考点,降低了控制系统电池容量的需求,减少控制过程中对电池的充放电电量。将所提控制策略应用于间歇式电源输出功率实时平滑控制,结果显示,与传统控制策略相比较,新的控制策略在电池容量需求和对电池充放电总电量方面的性能实现了大幅度的提高。

参考文献

- [1] 全国电力监管标准化技术委员会. GBT 19963. 2011 风电场接入电力系统技术规定[s]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
National Electricity Regulatory Standardization Technical Committee. GBT-19963-2011 Technical rule for connecting wind farm to power system[S]. Beijing: Standard Press of China, 2011.
- [2] IEEE Std 1547-2003 IEEE standard for interconnecting distributed resources with electric power systems[S]. 2003.
- [3] BARTON J P, INFELD D G. Energy storage and its use with intermittent renewable energy[J]. IEEE Trans on Energy Conversion, 2004, 19(2): 441-448.
- [4] 张步涵, 曾杰, 毛承雄, 等. 电池储能系统在改善并网风电场电能质量和稳定性中的应用[J]. 电网技术, 2006, 30(15): 54-58.
Zhang Buhan, Zeng Jie, Mao Chengxiong, et al. Improvement of power quality and stability of wind farms connected to power grid by battery energy storage system[J]. Power System Technology, 2006, 30(15): 54-58.
- [5] Yoshimoto K, Nanahara T, Koshimizu G. New control method for regulating state-of-charge of a battery in hybrid wind power/battery energy storage system[C]// Power Systems Conference and Exposition, Oct.29-Nov.1, 2006, Atlanta, America: 7p.
- [6] 张野, 郭力, 贾宏杰, 等. 基于电池荷电状态和可变滤波时间常数的储能控制方法[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(6): 34-38.
ZHANG Ye, GUO Li, JIA Hongjie, et al. An energy storage control method based on state of charge and variable filter time constant[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(6): 34-38.
- [7] 谢俊文, 陆继明, 毛承雄. 基于变平滑时间常数的电池储能系统优化控制方法[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(1): 96-102.
XIE Junwen, LU Jiming, MAO Chengxiong, et al. Optimal control of battery storage system based on variable smoothing time constant[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(1): 96-102.
- [8] 刘霞, 江全元. 风光储混合系统的协调优化控制[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(14): 95-100.
LIU Xia, JIANG Quanyuan. An optimal coordination control of hybrid wind/photovoltaic/energy storage system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(14): 95-100.
- [9] 丁明, 吴建锋, 朱承治, 等. 具备荷电状态调节功能的储能系统实时平滑控制策略[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(1): 22-29.
DING Ming, WU Jianfeng, ZHU Chengzhi, et al. A real-time smoothing control strategy with SOC adjustment function of storage systems[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(1): 22-29.
- [10] 张国驹, 唐西胜, 齐智平. 平抑间歇式电源功率波动的混合储能系统设计[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(20): 24-28.
ZHANG Guojun, TANG Xisheng, QI Zhiping. Design of a hybrid storage system on leveling off fluctuating power outputs of Intermittent sources[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(20): 24-28.
- [11] 鲍雪娜, 张建成, 徐明, 等. 基于混合储能的并网光伏电站有功分级控制策略[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(1): 115-121.
BAO Xuena, ZHANG Jiancheng, XU Ming, et al. Active power hierarchical control strategy of interconnected photovoltaic station based on hybrid energy storage[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(1): 115-121.
- [12] Sercan Teleke, Mesut E. Baran, Alex Q, et al. Control strategies for battery energy storage for wind farm dispatching[J]. IEEE Trans on Energy Conversion, 2009, 24(3): 725-732.
- [13] Sercan Teleke, Mesut E. Baran, Alex Q. Huang. Optimal control of battery energy storage for wind farm dispatching[J]. IEEE Trans on Energy Conversion, 2010, 25(3): 787-794.
- [14] 洪海生, 江全元, 严玉婷. 实时平抑风电场功率波动的电池储能系统优化控制方法[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(1): 103-109.
HONG Haisheng, JIANG Quanyuan, YAN Yuting. An optimization control method of battery energy storage system with wind power fluctuations smoothed in real time[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(1): 103-109.

- [15] Kempton W, Tomic J. Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue[J]. *Journal of Power Sources*, 2005, 144(1): 268-279.
- [16] Barsali S, Ceraolo M. Dynamical models of lead-acid batteries: Implementation issues[J]. *IEEE Trans. Energy Convers*, 2002, 17(1): 16-23.
- [17] BYD Company Limited[EB/OL]. [2013-5-10]. <http://www.bydenergy.com/energy/Products/>.

谢涛(1978—), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向: 分布式发电与储能、微电网技术。E-mail: timonxie@126.com

曹军威(1973—), 男, 博士, 教授, 主要研究方向: 智能电网、先进计算技术及应用。E-mail: jcao@mail.tsinghua.edu.cn

高田(1982—), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向: 分布式发电与储能、能量管理。E-mail: goldsmith777@126.com

An Energy Storage System Smoothing Control Strategy Based on Sliding Least Square Algorithm and Battery SOC

XIE Tao¹, CAO Junwei², GAO Tian², WAN Yuxin²

(1. School of Computer and Information Engineering, Beijing Technology and business University, Beijing 100048, China; 2. Research Institute of Information Technology, Tsinghua University, Beijing 100044, China)

Abstract: Output fluctuation of intermittent sources can be mitigated by coordinating with ESS (energy storage system) so that output stability can be improved. This paper proposed a real time control strategy for ESS based on sliding least square algorithm and SOC (state of charge). Output power can be determined by sliding least square algorithm. Combined with regulation of SOC and maximum fluctuation power limit, DOD (depth of discharge) of ESS can be effectively reduced during the smoothing control process. The simulation results show that compared with traditional filter algorithm based control strategy, the proposed control strategy can achieve less SOC fluctuation, largely reduce required ESS energy capacity and lengthen battery lifecycle with identical smoothing effectiveness.

Key words: intermittent source; battery energy storage system; smoothing control; sliding least square algorithm; state of charge