

# 一种新型的基于风速预测的风力发电系统 蓄电池充放电控制策略

荣 飞, 李 旺, 黄守道

(湖南大学 电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410082)

**摘要:**为了使风力发电系统的有功出力波动维持在规定的范围内,同时保证系统的蓄电池储能水平基本保持不变,使系统能有效地应对输入功率突然增加及输出功率急剧下降的紧急情况,在风速预测的基础上提出一种新型的风力发电系统蓄电池充放电控制策略。当预测的风力发电系统输入功率的波动超过规定的功率变化范围时,通过对蓄电池的充放电控制以减弱网侧功率的波动,并且使蓄电池的充放电能量在一个周期内基本平衡,从而保证系统预留一定容量的储能装置以接收大功率输入或补充严重不足的并网功率,有效地减少了风能损失、提高了系统的效率。仿真结果验证了所提控制策略的有效性和可靠性。

**关键词:**风力发电系统; 电池储能系统; 控制策略; 充放电控制; 能量平衡; 机侧变流器; 网侧变流器

**中图分类号:** TM 614

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.16081/j.issn.1006-6047.2018.04.023

## 0 引言

能源危机和环境问题的加剧促使世界各国越来越重视可再生能源的开发利用,特别是清洁、环保、可再生的风能,已经成为新能源研究开发的热点<sup>[1-2]</sup>。然而,风能具有不稳定性 and 间歇性<sup>[3]</sup>,为了有效地利用风能,必须在风力发电系统中加入储能装置<sup>[4]</sup>。

常见的储能装置一般有蓄电池、超级电容、飞轮等储能设备。其中,超级电容的能量密度较低,投资成本高<sup>[5]</sup>;飞轮储能的能量密度比较低,在安全保护方面存在难点,系统安全性费用高<sup>[6]</sup>;蓄电池的容量比较大,寿命长,技术相对成熟,且可以在无风速或者风速较低时为并网侧提供一定的能量。因此,采用蓄电池作为风力发电系统的储能设备是最为合适的。文献[7]在分析风功率分钟级波动概率特性及现有电池技术特性的基础上,提出了一种基于双电池储能系统 BESS (Battery Energy Storage System) 拓扑结构的风储混合电站。文献[8]基于全钒电池储能系统在风电领域的应用,结合风电短期预测技术,针对电池储能侧的运行与控制进行详细研究,提出平抑风电功率的电池储能系统控制策略。文献[9]从风力机组的模型特性出发,结合蓄电池和超级电容构成的混合蓄能系统的储能特点,提出一种平抑风电波动的恒功率并网方法。

基于上述储能装置的充放电控制策略,本文结合风速预测技术进一步优化充放电控制,使蓄电池储能基本维持同一水平,保证系统灵活地应对输入功率突然增加或有功出力急剧下降的不利情形,有效平抑系统并网功率波动,改善输出电能质量,同时降低风能损失、提高效率。

## 1 风力发电系统及并网功率限制

### 1.1 永磁直驱风力发电系统拓扑

含储能的永磁直驱风力发电系统拓扑如图 1 所示,该系统主要由风力发电机、永磁同步电机、机侧变流器 VSC<sub>1</sub>、蓄电池、网侧变流器 VSC<sub>2</sub> 组成。风力发电机捕获风能,将其转化为机械能,拖动发电机发电;电能经过双脉宽调制 (PWM) 变流器并入电网;蓄电池在风速持续过大时通过 DC/DC 变换器充电,限制并网功率,在风速过小时放电补充系统并网功率。

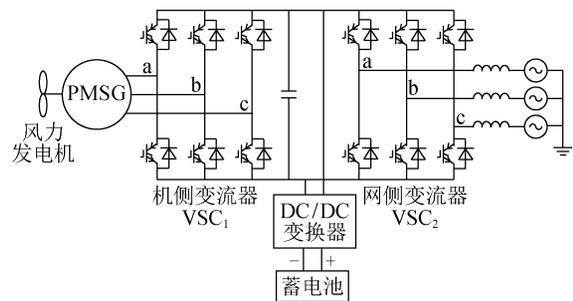


图 1 带储能的直驱永磁风力发电系统拓扑图

Fig.1 Structure diagram of permanent-magnet direct-drive wind power generation system with energy storage

### 1.2 风电场输出功率波动限制

国标 GB/T 15945—2008 对风电场输出功率的波动做出了明确规定,具体如表 1 所示。因为本文的研究对象为直接并网型单台风力发电机,所以该限制条件对上述永磁直驱风力发电系统是有效的。

表 1 风电场输出功率波动限制

Table 1 Fluctuation limits of output power for wind farm

风电场装机容量/MW	10 min 最大有功功率变化限值 $\Delta P_{s10}$ /MW	1 min 最大有功功率变化限值 $\Delta P_{s1}$ /MW
<30	10	3
30~150	装机容量的 1/3	装机容量的 1/10
>150	50	15

假设本文风电机组的额定容量  $S^*$  为 10 MW, 以表 1 中规定的系统 1 min 内有功出力波动范围为例进行分析, 即 1 min 内系统输出的有功波动不能超过  $30\% \times S^*$ ; 对于表 1 中有关系统 10 min 内有功出力波动限制的分析与 1 min 内有功出力波动限制类似。

## 2 蓄电池控制策略

风力发电系统的能量流向图如图 2 所示。图中,  $P_1(t)$ 、 $P_2(t)$ 、 $P_3(t)$  分别为  $t$  时刻机侧变流器 VSC<sub>1</sub> 的输出功率、网侧变流器 VSC<sub>2</sub> 的输出功率、蓄电池的放电功率, 其参考方向如图 2 所示;  $S_1^*$  为 VSC<sub>1</sub> 的额定功率;  $S_2^*$  为 VSC<sub>2</sub> 的额定功率;  $W_3^*$  为蓄电池的额定容量。

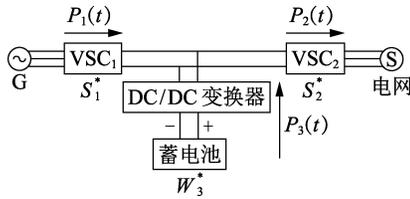


图 2 风力发电系统能量流向图

Fig.2 Energy flow of wind power generation system

由能量守恒定理可得:

$$P_2(t) = P_1(t) + P_3(t) \quad (1)$$

因为任意时刻 VSC<sub>1</sub>、VSC<sub>2</sub> 的输出功率不能超过其额定功率, 而且蓄电池储存的电能不能超过其容量限制, 所以有:

$$\begin{cases} 0 \leq P_1(t) \leq S_1^* \\ 0 \leq P_2(t) \leq S_2^* \\ 0 < W_3(t) - P_3(t) \Delta T < W_3^* \end{cases} \quad (2)$$

其中,  $W_3(t)$  为  $t$  时刻蓄电池储存的电能;  $\Delta T$  为控制周期。

$P_1(t)$  随风速变化, 由表 1 可知, 根据  $t$  时刻的前 60 s 内 VSC<sub>1</sub> 输出的功率可得  $t$  时刻  $P_2(t)$  的范围。为了更精准地控制  $P_2(t)$ , 本文通过在短期风速预测技术<sup>[10-12]</sup>获得的  $t$  时刻后 60 s 内  $P_1$  的基础上控制  $P_2$  输出, 从而保证风力发电系统并网功率波动不越限的同时, 尽量使蓄电池的充放电平衡, 提高风力发电系统的可靠性, 具体控制方法如下。

机侧变流器功率预测图如图 3 所示(纵轴  $P$  的单位为 W, 横轴  $t$  的单位为 s; 后同), 假设当前时刻机侧变流器 VSC<sub>1</sub> 的输出功率为  $P_1(0)$ , 预测得到的 VSC<sub>1</sub> 的输出功率为  $P_1(t)$ 。

由于风力发电机是一个大惯性环节, 可以认为 1 s 内其输出功率不变, 故将 60 s 的功率数据离散为 60 个点, 并求取平均值为:

$$P_{av}^1 = \frac{1}{60} \sum_{t=0}^{59} P_1(t) \quad (3)$$

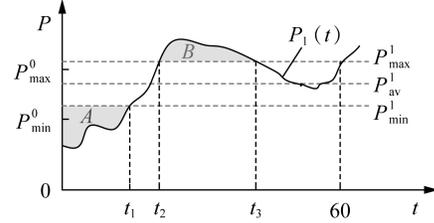


图 3 机侧变流器功率预测图(蓄电池先放电后充电)

Fig.3 Predictive power of generator side converter (battery charging after discharging)

为了保证系统输出功率的波动范围不超过  $30\% \times S^*$ , 在之后的 60 s 内 VSC<sub>2</sub> 的输出功率范围不应超过  $[P_{min}^1, P_{max}^1]$ , 其中  $P_{min}^1$ 、 $P_{max}^1$  如式(4)所示。

$$\begin{cases} P_{min}^1 = P_{av}^1 - 15\% \times S^* \\ P_{max}^1 = P_{av}^1 + 15\% \times S^* \end{cases} \quad (4)$$

假设之前 59 s 内网侧变流器 VSC<sub>2</sub> 输出功率的平均值为  $P_{av}^0$ , 为了保证之前 60 s 内  $P_2$  的波动范围不超过  $30\% \times S^*$ , 当前时刻 VSC<sub>2</sub> 允许输出的功率范围为  $[P_{min}^0, P_{max}^0]$ , 其中  $P_{min}^0$ 、 $P_{max}^0$  如式(5)所示。

$$\begin{cases} P_{min}^0 = P_{av}^0 - 15\% \times S^* \\ P_{max}^0 = P_{av}^0 + 15\% \times S^* \\ P_{av}^0 = \frac{1}{60} \sum_{t=-59}^0 P_1(t) \end{cases} \quad (5)$$

由上述分析可知, 当前时刻 VSC<sub>2</sub> 最终允许输出功率的范围为  $[P_{min}, P_{max}]$ :

$$[P_{min}, P_{max}] = [P_{min}^0, P_{max}^0] \cap [P_{min}^1, P_{max}^1] \quad (6)$$

由图 3 可以看出:

$$\begin{cases} P_{min} = P_{min}^1 \\ P_{max} = P_{max}^0 \end{cases} \quad (7)$$

由以上分析可知, 图 3 中区域 A 表示之后 1 min 内蓄电池释放的电能  $W_A$ ; 区域 B 表示之后 1 min 内蓄电池储存的电能  $W_B$ 。  $W_A$ 、 $W_B$  如式(8)所示。

$$\begin{cases} W_A = \int_0^{t_1} (P_{min}^1 - P_1(t)) dt \\ W_B = \int_{t_2}^{t_3} (P_1(t) - P_{max}^1) dt \end{cases} \quad (8)$$

a. 当  $W_A = W_B$  时, 如图 4 所示, 表明在之后的 1 min 内蓄电池充放电平衡, 则此时蓄电池放电功率参考值  $P_{3\_forecast}$  为:

$$P_{3\_forecast} = P_{min}^1 - P_1(0) \quad (9)$$

b. 当  $W_A > W_B$  时, 如图 4 所示, 表明在之后的 1 min 内蓄电池释放的电能大于可以储存的电能, 为了基本维持蓄电池充放电平衡, 此时应使蓄电池尽量少放电, 故  $P_{3\_forecast}$  如式(9)所示。

c. 当  $W_A < W_B$  时, 如图 5 所示, 表明在之后的 1 min 内蓄电池可以储存的电能大于可以释放的电

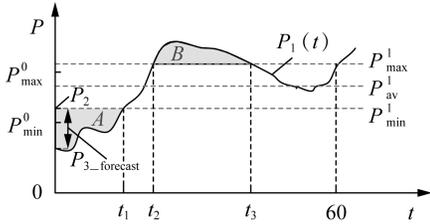
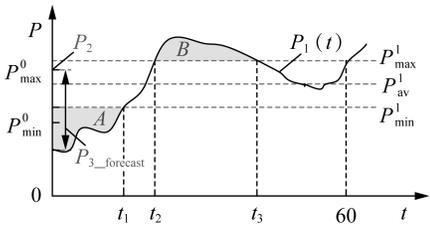


图 4  $W_A \geq W_B$  时机侧变流器功率预测图  
(蓄电池先放电后充电)

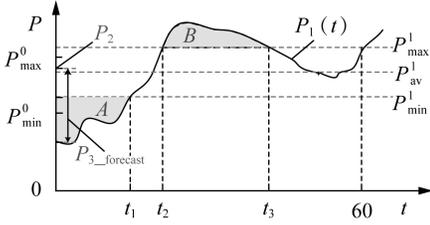
Fig.4 Predictive power of generator side converter when  $W_A \geq W_B$  (battery charging after discharging)

能,为了基本维持蓄电池充放电平衡,此时应使蓄电池尽量多放电,所以有:

$$P_{3\_forecast} = \begin{cases} P_{max}^0 - P_1(0) \\ W_A + (P_{max}^0 - P_{min}^1) \Delta T \leq W_B \\ (W_B - W_A) / \Delta T + (P_{min}^1 - P_1(0)) \\ W_A + (P_{max}^0 - P_{min}^1) \Delta T > W_B \end{cases} \quad (10)$$



(a)  $W_A + (P_{max}^0 - P_{min}^1) \Delta T \leq W_B$



(b)  $W_A + (P_{max}^0 - P_{min}^1) \Delta T > W_B$

图 5  $W_A < W_B$  时机侧变流器功率预测图  
(蓄电池先放电后充电)

Fig.5 Predictive power of generator side converter when  $W_A < W_B$  (battery charging after discharging)

上述分析均为蓄电池先放电后充电的情形。蓄电池先充电后放电的情形如图 6 所示,具体分析如下。图中,  $W'_A$  为之后的 1 min 内蓄电池储存的电;  $W'_B$  为之后的 1 min 内蓄电池释放的电。

$$\begin{cases} W'_A = \int_0^{t_1} (P_1(t) - P_{max}^1) dt \\ W'_B = \int_{t_2}^{t_3} (P_{min}^1 - P_1(t)) dt \end{cases} \quad (11)$$

a. 当  $W'_A \geq W'_B$  时,如图 7 所示,蓄电池的充电功率参考值  $P_{3\_forecast}$  为:

$$P_{3\_forecast} = P_1(0) - P_{max}^0 \quad (12)$$

b. 当  $W'_A < W'_B$  时,如图 8 所示,蓄电池的充电功率

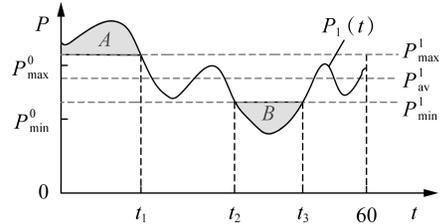


图 6 机侧变流器功率预测图 (蓄电池先充电后放电)

Fig.6 Predictive power of generator side converter (battery discharging after charging)

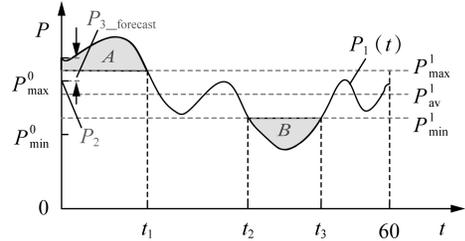
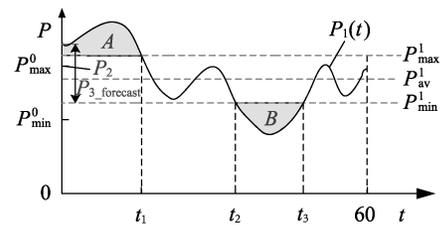
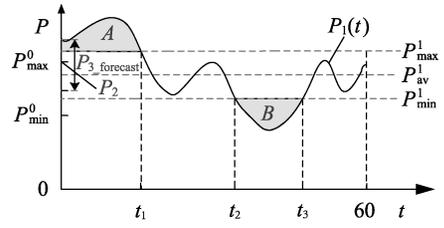


图 7  $W'_A \geq W'_B$  时机侧变流器功率预测图  
(蓄电池先充电后放电)

Fig.7 Predictive power of generator side converter when  $W'_A \geq W'_B$  (battery discharging after charging)



(a)  $W'_A + (P_{max}^0 - P_{min}^1) \Delta T \leq W'_B$



(b)  $W'_A + (P_{max}^0 - P_{min}^1) \Delta T > W'_B$

图 8  $W'_A < W'_B$  时机侧变流器功率预测图  
(蓄电池先充电后放电)

Fig.8 Predictive power of generator side converter when  $W'_A < W'_B$  (battery discharging after charging)

参考值  $P_{3\_forecast}$  为:

$$P_{3\_forecast} = \begin{cases} P_1(0) - P_{min}^1 \\ W'_A + (P_{max}^0 - P_{min}^1) \Delta T \leq W'_B \\ (W'_B - W'_A) / \Delta T + (P_1(0) - P_{max}^1) \\ W'_A + (P_{max}^0 - P_{min}^1) \Delta T > W'_B \end{cases} \quad (13)$$

在下一个控制周期,控制蓄电池的充电功率(或放电功率)为  $P_{3\_forecast}$ ,并对每个控制周期采用同样的操作,可以确保蓄电池在长时间内充放电达到平衡,从而使其在需要放电(或充电)时有适当的荷电

水平(或容量)。

由以上分析可知,蓄电池充放电控制的具体步骤如下:

a. 预测风力发电机的迎面风速,将其转化为  $VSC_1$  的输出功率  $P_1(t)$ ,并计算  $VSC_2$  输出功率的最大值  $P_{max}$ 、最小值  $P_{min}$ ;

b. 判断并计算蓄电池在对应状态下的放电电能  $W_A$ (或  $W'_B$ )及充电电能  $W_B$ (或  $W'_A$ );

c. 根据  $W_A$ 、 $W_B$ (或  $W'_A$ 、 $W'_B$ )计算  $P_{3\_forecast}$ ;

d. 在下一个控制周期控制蓄电池的充电功率(或放电功率)为  $P_{3\_forecast}$ ,每个控制周期的操作类似。

### 3 仿真分析

本文以盐城市响水县某风电场的风速数据为例进行分析,已知该风电场 24 h 内的风速见图 9。

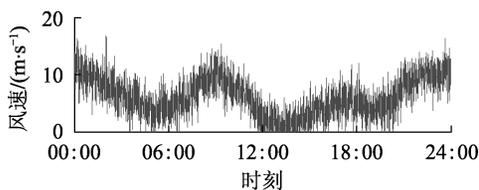


图 9 风电场某典型日风速

Fig.9 Wind speed of wind farm in a typical day

结合 10 MW 风电机组的各项参数,即风力发电机的安装高度 80 m、风轮直径 140 m、风力机的风能利用系数 0.45,同时空气密度  $\rho$  取值为  $1.29 \text{ kg/m}^3$ ,将图 9 所示的风速转化为风力发电机吸收的风功率  $P_0$ ,如图 10 所示。经计算可得,风力发电系统 24 h 内吸收的风能为  $74.883 \text{ MW}\cdot\text{h}$ 。

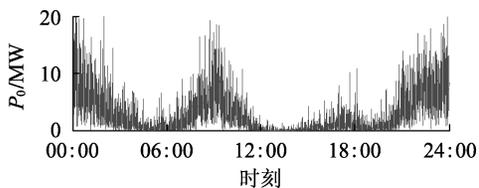


图 10 风力机吸收的功率

Fig.10 Absorbed power of wind turbine

根据工程经验,风力发电系统中机侧变流器  $VSC_1$  的额定功率与网侧变流器的额定功率取值相等,且  $VSC_1$  的额定功率为风力发电机吸收平均功率的 1.2 倍,蓄电池额定容量为 1 h 内机侧变流器  $VSC_1$  以额定功率输出的能量值。所以,设置机侧变流器  $VSC_1$  和网侧变流器  $VSC_2$  的额定功率为 5.224 MW,蓄电池的额定容量为  $5.224 \text{ MW}\cdot\text{h}$ 。

#### 3.1 传统蓄电池控制仿真分析

采用传统的蓄电池控制策略,当机侧功率过高时,蓄电池充电;反之,蓄电池放电。仿真波形如图 11 所示。图 11(a)为并网功率波形图,图中灰线表示因系统输入功率不足及蓄电池容量有限导致的并

网功率越下限,经计算可得,风力发电系统一天内越限时长达 1.8 h;图 11(b)为蓄电池实时储能波形图,经计算可知,蓄电池日空载时长达 2.1 h,日满载时长达 4.9 h;图 11(c)为系统损失功率波形图,由图可知,风力发电系统存在功率损失的时间长达 22.7 h,最大损失功率接近 25 MW,经计算可知系统日总损失风能达  $17.557 \text{ MW}\cdot\text{h}$ ,占系统日总输入风能的 23%。

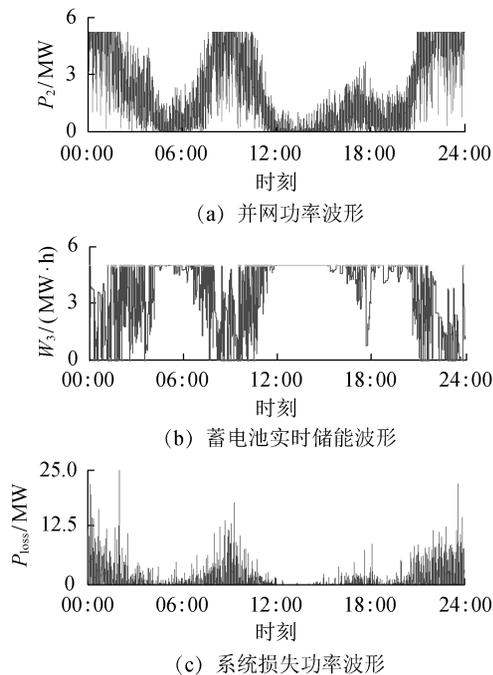


图 11 传统蓄电池控制策略下仿真波形图

Fig.11 Simulative waveforms of traditional battery control strategy

#### 3.2 本文所提控制策略仿真分析

采用本文所提蓄电池控制策略,仿真结果如图 12 所示。图 12(a)为并网功率波形图,经计算系统日越限时长为 0.6 h,相比于传统控制策略减少了 1.2 h,并网功率波动得到明显的改善。图 12(b)为蓄电池实时储能波形图,经计算可得蓄电池日空载时长为 0.3 h,相较于图 11(b)减少了 1.8 h,日满载时长为 0.2 h,相较于图 11(b)减少了 4.7 h,说明本文控制策略进一步地减少了蓄电池过度充放电的情况,同时改善了因蓄电池满载而弃风的情形;由图 12(b)可知,在风力发电系统无瞬时增加或减少的风能输入的情况下,蓄电池实时储能短时变化小,基本维持在某一恒定值,给系统储能留有一定的裕量,便于接收短时大功率输入及补充急剧降低的并网功率。图 12(c)为系统损失功率波形图,由图可知,风力发电系统存在功率损失的时间长达 20.1 h,系统日总损失风能为  $11.629 \text{ MW}\cdot\text{h}$ ,占系统日总输入风能的 15%,与图 11(c)相比,表明采用本文所提控制策略后系统损失风能进一步减小,系统的转化效率提高。

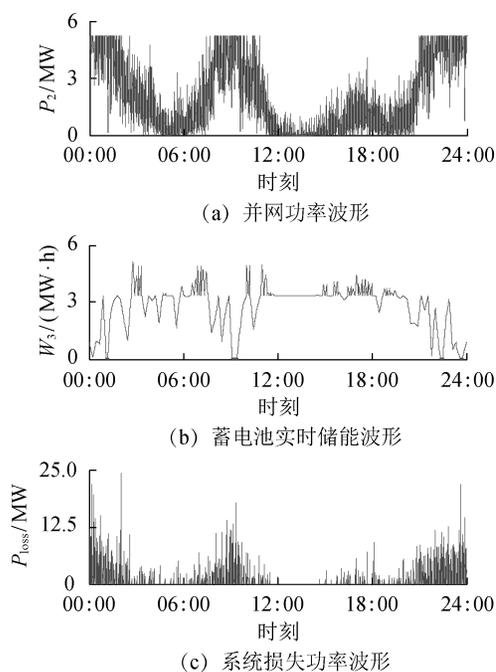


图12 本文所提蓄电池控制策略下仿真波形图

Fig.12 Simulative waveforms of proposed battery control strategy

## 4 结论

本文提出了一种基于风速预测的蓄电池充放电控制策略,能在保证风力发电系统并网功率基本不越限的同时维持整个电池系统的电量在一个周期内基本不变,为系统灵活应对功率的急剧变化保留了足够的储能裕量,提高了系统的可靠性,并进一步减少了系统的风能损失,提高了系统的效率。仿真结果验证了所提控制策略的可靠性和有效性。

## 参考文献:

- [ 1 ] 常怡然,蔡旭. 大型海上全直流风场中基于 MMC 的风力发电变流器及其控制[J]. 中国电机工程学报, 2016, 36(14): 3789-3798.  
CHANG Yiran, CAI Xu. MMC based wind power converters for off-shore DC wind farms[J]. Proceedings of the CSEE, 2016, 36(14): 3789-3798.
- [ 2 ] 雷珽,欧阳曾恺,李征,等. 平抑风能波动的储能电池 SOC 与滤波协调控制策略[J]. 电力自动化设备, 2015, 35(7): 126-131.  
LEI Ting, OUYANG Zengkai, LI Zheng, et al. Coordinated control of battery SOC maintaining and filtering for wind power fluctuation smoothing[J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(7): 126-131.
- [ 3 ] 张磊,朱凌志,陈宁,等. 风力发电统一模型评述[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(12): 207-215.  
ZHANG Lei, ZHU Lingzhi, CHEN Ning, et al. Review on generic model for wind power generation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(12): 207-215.
- [ 4 ] 程世军,张粒子. 风力发电系统中储能容量的优化配置[J]. 电力系统及其自动化, 2015, 27(3): 71-75.  
CHENG Shijun, ZHANG Lizi. Energy storage capacity optimization for wind power generation system[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2015, 27(3): 71-75.
- [ 5 ] 张纯江,董杰,刘君,等. 蓄电池与超级电容混合储能系统的控制策略[J]. 电工技术学报, 2014, 29(4): 334-340.  
ZHANG Chunjiang, DONG Jie, LIU Jun, et al. A control strategy for battery-ultracapacitor hybrid energy storage system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(4): 334-340.
- [ 6 ] 徐小三,张明. 含蓄电池储能的永磁直驱风力发电系统并网研究[J]. 电气自动化, 2015, 37(3): 37-39.  
XU Xiaosan, ZHANG Ming. A study on grid connection of direct-driven PM wind power system containing battery energystorage[J]. Electrical Automation, 2015, 37(3): 37-39.
- [ 7 ] 张新松,顾菊平,袁越,等. 基于电池储能系统的风功率波动平抑策略[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(28): 4752-4760.  
ZHANG Xinsong, GU Juping, YUAN Yue, et al. Strategy of smoothing wind power fluctuation based on battery energy storage system[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(28): 4752-4760.
- [ 8 ] 李蓓,郭剑波. 平抑风电功率的电池储能系统控制策略[J]. 电网技术, 2012, 36(8): 38-43.  
LI Bei, GUO Jianbo. A control strategy for battery energy storage system to level wind power output[J]. Power System Technology, 2012, 36(8): 38-43.
- [ 9 ] HALIMA N B, OUALHA A. Management of energy produced by a wind turbine connected to the network in order to inject a constant power[C] // International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering. Sousse, Tunisia: IEEE, 2017: 1-5.
- [ 10 ] 史宇伟,潘学萍. 计及历史气象数据的短期风速预测[J]. 电力自动化设备, 2014, 34(10): 75-80.  
SHI Yuwei, PAN Xueping. Short-term wind speed forecasting considering historical meteorological data[J]. Electric Power Automation Equipment, 2014, 34(10): 75-80.
- [ 11 ] 王辉,刘达,王继龙. 基于谱聚类和优化极端学习机的超短期风速预测[J]. 电网技术, 2015, 39(5): 1307-1314.  
WANG Hui, LIU Da, WANG Jilong. Ultra-short-term wind speed prediction based on spectral clustering and optimized extreme learning machine[J]. Power System Technology, 2015, 39(5): 1307-1314.
- [ 12 ] 王东风,王富强,牛成林. 小波分解层数及其组合分量对短期风速多步预测的影响分析[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(8): 82-89.  
WANG Dongfeng, WANG Fuqiang, NIU Chenglin. Analysis of wavelet decomposition for multi-step prediction of short-term wind speed[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(8): 82-89.

## 作者简介:



荣飞

荣飞(1978—),男,湖北桃江人,副教授,博士,主要研究方向为分布式能源、电力电子变流技术、电力系统有源滤波和无功补偿(E-mail: rongfei@hnu.edu.cn);

李旺(1991—),男,湖南长沙人,硕士研究生,主要研究方向为柔性直流输电、新能源发电(E-mail: 1015745166@qq.com);

黄守道(1962—),男,湖南资兴人,教授,博士研究生导师,主要研究方向为稀土永磁电机设计与控制、电机变频调速。

(下转第168页 continued on page 168)

**作者简介:**

黄越辉(1979—),女,湖南望城人,教授级高级工程师,博士,研究方向为新能源发电并网及调度运行技术(**E-mail**: huangyh@epri.sgcc.com.cn);

李 驰(1990—),男,黑龙江齐齐哈尔人,工程师,硕士,主要研究方向为新能源发电并网及调度运行技术(**E-mail**: lich@epri.sgcc.com.cn);



黄越辉

礼晓飞(1986—),男,辽宁沈阳人,高级工程师,硕士,主要研究方向为新能源发电并网及调度运行技术(**E-mail**: lixiaofei3@epri.sgcc.com.cn)。

## Research on correlation of multiple wind farms power based on fluctuation classification and time shifting

HUANG Yuehui<sup>1</sup>, ZHANG Peng<sup>2</sup>, LI Chi<sup>1</sup>, LI Xiaofei<sup>1</sup>, WEI Wenting<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Operation and Control of Renewable Energy & Storage Systems, China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China; 2. School of Electrical and Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

**Abstract:** Correlation analysis on multi-wind farms power is significant for grasping the characteristic of wind power, and predicting of wind farm output and its modeling in time series. Thus the correlation analysis method based on fluctuation classification and time shifting technology is proposed. The overall trend of multi-wind farms power is obtained by visualizing the time series in scatter diagrams and regressing analysis. Then, the partial characteristics of wind power output classified by fluctuation process are extracted and the power fluctuations of multiple wind farms are paired up by fluctuation classification and fluctuation pair algorithm. The optimal shifting offset and direction are respectively obtained through time shifting technique based on Pearson correlation coefficients and Granger causality test. Case study results verify that the proposed method can extract the partial characteristics of wind power fluctuations and describe the correlation of wind power more precisely, it can also obtain the optimal shifting offset of large- and middle-scale fluctuation pairs can also be obtained, which can be taken as the restraints for modeling of multi-wind farms power series to improve the modeling accuracy.

**Key words:** wind power; multiple wind farms; correlation; fluctuation classification; time shifting

(上接第 161 页 continued from page 161)

## A new charging/discharging control strategy for battery in wind power generation system based on wind speed prediction

RONG Fei, LI Wang, HUANG Shoudao

(College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

**Abstract:** In order to maintain the active power fluctuations of the wind power generation system within the specified range and ensure the energy storage balance of battery system basically to cope with the sudden increase in the input power or the sudden drop in the output power effectively, a new charging/discharging control strategy for battery in wind power generation system based on wind speed prediction is proposed. When the predictive input power fluctuations of wind power generation system exceed the specified range of power change, the charging and discharging power of battery is controlled to decrease the power fluctuations in the grid side and to make the charging and discharging energy of battery balance basically within a cycle. Then, a certain capacity of energy storage device is reserved to receive the high power input or compensate for the serious shortage of grid power, the wind energy loss is reduced and the system efficiency is improved effectively. Simulative results verify the effectiveness and reliability of the proposed control strategy.

**Key words:** wind power generation system; battery energy storage system; control strategy; charging and discharging control; energy balance; generator side converter; grid side converter