

面向风电平抑的混合储能系统容量配置方法

丁 明, 吴 杰, 张晶晶

(合肥工业大学安徽省新能源利用与节能重点实验室, 合肥 230009)

摘 要: 采用基于风电并网波动标准的自适应小波包分解方法处理风电功率, 利用混合储能系统平抑风电并网后的波动分量。将混合储能系统内部功率指令划分与系统容量配置相结合, 以储能系统年综合成本最小为目标, 建立基于电池寿命量化模型的混合储能容量优化模型, 进而通过穷举对比不同功率指令分界点所对应的系统成本确定最优分界点。以某风电场典型日出力数据为例, 对最优分界点及其对应的储能配置进行优化分析, 仿真结果验证所提方法的技术合理性和经济实用性。

关键词: 风电功率; 储能; 寿命周期; 小波包分解

中图分类号: TK02

文献标识码: A

0 引 言

近年来, 中国风力发电持续快速增长, 在电网中占比日益提高, 逐步进入大规模发展阶段^[1]。随着风电大规模并网运行, 其自身所具有的间歇性、波动性和不确定性会直接影响电力系统的安全稳定运行。储能技术具有对电能的时空迁移能力, 能够灵活响应不同时间尺度的功率需求。在风电场侧配置储能系统是平抑风电功率波动、提高电网接纳风电能力的可行解决方案^[2,3]。

目前应用于平抑风电输出功率波动的储能设备以电池储能最为普遍。电池储能能量密度大、储存能力强, 可作为平抑波动的主要储能元件, 但其存在功率密度小、循环寿命短、不适用于频繁的充放电转换等问题。超级电容作为功率型储能元件的代表, 具有功率密度大、充放电周期短、循环寿命长等特点, 可和电池储能在性能上实现优势互补。将电池储能和超级电容储能组合使用, 构建混合储能系统可提高储能系统的出力性能, 延长电池储能使用寿命, 降低储能成本, 克服单一储能系统所存在的缺点^[4,5]。然而在现有技术条件下, 储能元件的成本相对较高, 如何合理确定满足风电功率波动平抑要求的混合储能系统容量和系统内部储能元件配比是混合储能技术能够应用于实际工程所需解

决的关键问题。

国内外针对混合储能系统容量配置的问题研究较多, 取得了一定的研究成果。文献[6]针对储能在大功率、大容量、波动性较强的应用场合, 提出基于成本分析的混合储能配置方案。文献[7]建立风/光发电系统、电池和超级电容的数学模型, 利用模拟退火粒子群优化算法最小化混合储能系统的投资和运维成本。上述文献基于风电功率历史数据对储能容量进行优化配置, 为进一步提高配置结果可靠性可将储能容量配置与平抑波动控制方法相结合进行分析。文献[8]采用小波分析技术对风电功率进行多层分解, 并通过模型预测控制算法实现功率波动的平抑控制, 由此确定储能系统的容量配置。文献[9]基于离散傅里叶变换将微网不平衡功率分解成日分量和小时分量分别平抑, 并将傅里叶变换分断点和混合储能容量统一优化。这些文献在给出不同波动平抑控制方法的基础上, 利用智能优化算法得到满足平抑要求的最小储能功率和容量。但考虑到储能元件在运行过程中产生的寿命损伤会对经济成本造成影响, 特别是电池储能的使用寿命受放电深度和充放电次数影响较大, 应用在频繁充放电场景中更有必要加以考虑。文献[10]针对风光互补独立微网系统, 考虑电池储能运行特性对其循环寿命的影响, 实现微网储能容量的合理

收稿日期: 2017-05-18

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFB0900400)

通信作者: 吴 杰(1993—), 男, 博士研究生, 主要从事对储能技术和新能源利用技术方面的研究。hf1993wj@163.com

配置。

上述研究成果或缺乏针对波动平抑的控制策略和混合储能内部的能量管理方法,或未考虑到电池储能寿命衰减对系统成本的影响。因此,本文采用自适应小波包分解方法处理风电功率得到符合风电并网波动标准的并网功率和混合储能功率指令,同时建立基于放电深度的电池储能运行寿命量化模型,进而将混合储能内部的功率分配与储能系统年综合成本进行联合优化,从而确定混合储能功率指令中高频分量的最优分界点及其相对应的混合储能系统成本最低的容量和功率配置,并根据实际风电场数据进行仿真验证。

1 风电功率波动平抑策略

1.1 风/储联合发电系统

在风电场的并网点安装储能系统,可对整个风电场的出力进行集中控制,是目前较常见的储能安装方式,其典型结构如图 1 所示。

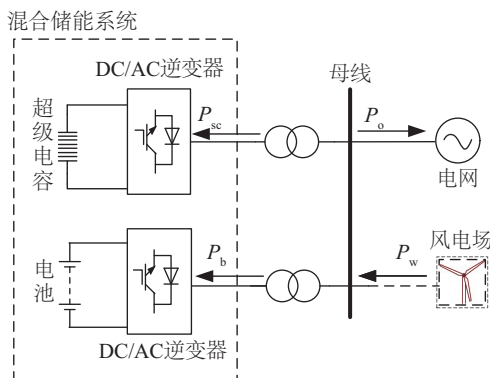


图1 风/储联合发电系统典型结构

Fig. 1 Typical structure of wind/storage combined power generation system

图 1 中, P_w 为风电场输出功率; P_o 为风/储联合发电系统的并网功率; P_b 和 P_{sc} 分别为电池储能和超级电容储能的功率指令。

$$P_w = P_o + P_b + P_{sc} \quad (1)$$

P_w 中分解出满足电力部门并网要求的并网功率 P_o , 剩余的功率分量作为储能系统的功率指令, 由混合储能系统平抑, 从而保持功率平衡。

1.2 自适应小波包分解方法

在文献[11]基础上提出针对不同风电出力场景下风电功率的波动特性, 结合风电并网波动标准

实现风电功率的自适应小波包分解, 得到风电并网功率和储能系统功率指令。

首先, 依据如表 1 所示现行国家标准规定的风电场接入电网的多时间尺度有功功率变化的最大限值, 建立风电场输出功率并网波动允许范围指标。然后利用小波包分解处理风电功率, 循环加深分解层数 n , 当分解所得低频分量 $P_{n,0}$ 首次满足并网波动允许时, 即可确定最优分解层数 n_0 。同时将此时的低频分量 $P_{n,0}$ 作为并网功率 P_o 、 P_w 和 P_b 的差值作为储能系统的功率指令。

$$P_w = P_{n,0} + P_{n,1} + \dots + P_{n,m-1} + P_{n,m} + \dots + P_{n,2^n-1} \quad (2)$$

表 1 风电场有功功率变化最大限值

Table 1 Maximum change of wind farm active power

风电场装机容量/MW	10 min 有功功率变化 最大限制/MW	1 min 有功功率变化 最大限制/MW
<30	10	3
30~150	装机容量/3	装机容量/10
>150	50	15

在利用小波包分解技术得到满足并网波动标准的风电并网功率的基础上, 完成风电功率波动平抑还需将储能功率指令在混合储能系统内部合理分配。文献[12]根据储能电池的响应时间划分功率指令, 将次高频信号由电池储能平滑, 剩余高频信号由超级电容储能平抑, 该文中选择电池响应时间为 1 h, 对应响应频率为 2.78×10^{-4} Hz, 与实际所需平抑的功率信号 min 级的波动不相匹配。文献[13]提出首先通过控制能量型储能充放电改变次数来划分功率指令, 再根据功率型储能的荷电状态 (SOC) 利用模糊控制对混合储能功率分配进行调整。该文以控制能量型储能充放电改变次数在 50 次以下为例进行说明。文献[11]选择 1 min 作为蓄电池和超级电容充放电响应的分界时间。上述基于小波包分解技术平抑风电波动的参考文献都是通过人为划分响应频率分界线或限制电池充放电改变次数的标准来分配储能系统内部的功率指令, 缺乏理论依据, 也不具备普遍适用的能力。因此本文考虑将混合储能系统内部的功率指令划分与储能系统的综合成本相结合, 通过比较不同分界点下储能系统的经济成本来确定功率指令最优分界点, 从而实现储能功率指令的合理分配。

2 混合储能系统容量优化模型

2.1 电池储能寿命量化模型

超级电容的循环使用寿命为 50 万~100 万次,远高于蓄电池循环寿命,因此本文中超级电容的寿命设为固定值。电池寿命量化主要有 3 种常见的计算模型:理化分析寿命模型、加权安时寿命模型和面向事件的寿命模型^[14]。理化分析模型通过建立电池寿命衰减过程的详细物理与化学模型来预测电池寿命,模型最为精细但过于复杂,不适用于在线计算场合;加权安时模型通过量化不同影响因子对电池电量的影响来预测电池寿命,这种模型可同时考虑多种影响因子且模型复杂度降低,但它是通过人为给定的容量消耗曲线来计算寿命而未考虑到实际工作过程的影响。面向事件的寿命模型首先制定对引起寿命损失的特定事件的描述,然后累计每个事件引起的寿命衰减情况给出当前电池的剩余寿命。这种模型针对特定影响因子进行分析而假定其他条件相同,适用于本文的电池寿命量化计算需求。本文在假定其他条件相同的条件下,重点研究不同功率指令下放电深度与电池寿命的函数关系,为计算混合储能系统的年综合成本提供理论依据。

本文以锂电池为例^[15],在额定放电深度下电池储能使用寿命内总放电电量 E_r 满足:

$$E_r = N_r D_r E_B \quad (3)$$

式中, N_r ——额定放电深度下的循环次数; D_r ——额定放电深度; E_B ——电池储能的额定容量, MWh。

而每次放电事件可折算为额定放电深度下的有效放电电量 E_{eff} :

$$E_{\text{eff}} = \left(\frac{D_a}{D_r} \right)^{0.19} e^{1.69 \left(\frac{D_a}{D_r} - 1 \right)} E_{\text{act}} \quad (4)$$

式中, D_a ——实际放电深度; E_{act} ——实际放电量, MWh。

累计每次事件引起的寿命衰减情况,若每天电池运行周期内包含 k 次放电事件,则其实际使用寿命可表示为:

$$T_b = \frac{E_r}{\sum_{d=1}^{365} \sum_{i=1}^k E_{\text{eff}}(i, d)} \quad (5)$$

式中, T_b ——电池储能的使用寿命, a。

2.2 目标函数与约束条件

风电场侧混合储能系统的优化目标是在满足平抑波动标准的前提下,合理配置电池储能和超级电容储能的功率和电量等级,使得储能系统年综合成本最小,即:

$$\min f = C_B + C_{SC} \quad (6)$$

其中,

$$C_B = C_{Bt} + C_{By} \\ = (k_p P_B + k_e E_B) \frac{r_0(1+r_0)^{T_b}}{(1+r_0)^{T_b} - 1} + k_{py} P_B + k_{ey} E_B \quad (7)$$

$$C_{SC} = C_{SCt} + C_{SCy} \\ = (\lambda_p P_{SC} + \lambda_e E_{SC}) \frac{r_0(1+r_0)^{T_{sc}}}{(1+r_0)^{T_{sc}} - 1} + \lambda_{py} P_{SC} + \lambda_{ey} E_{SC} \quad (8)$$

式中, f ——储能系统年综合成本; C_B 、 C_{SC} ——电池储能年综合成本和超级电容储能年综合成本; C_{Bt} 、 C_{By} 、 C_{SCt} 、 C_{SCy} ——蓄电池和超级电容投资成本等年值和年运行维护成本; P_B 、 E_B 、 P_{SC} 、 E_{SC} ——蓄电池和超级电容的额定功率和额定容量; k_p 、 k_e 、 k_{py} 、 k_{ey} ——蓄电池的功率成本系数、容量成本系数、功率运行维护成本系数和容量运行维护成本系数; λ_p 、 λ_e 、 λ_{py} 、 λ_{ey} ——超级电容的功率成本系数、容量成本系数、功率运行维护成本系数和容量运行维护成本系数; T_{sc} ——超级电容的运行年限, a; r_0 ——贴现率。

储能系统在实际运行中可能出现 SOC 越限和充放电响应能力不足的问题,因此需要对储能设备的 SOC 和充放电功率进行如下约束:

$$\begin{cases} SOC_{bmin} \leq SOC_b(t) \leq SOC_{bmax} \\ SOC_{scmin} \leq SOC_{sc}(t) \leq SOC_{scmax} \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} \max(-P_B, \frac{E_b(t) - E_B}{\Delta t \eta_{Bc}}) \leq P_b(t) \leq \min(P_B, \frac{E_b(t) - E_B}{\Delta t} \eta_{Bd}) \\ \max(-P_{SC}, \frac{E_{sc}(t) - E_{SC}}{\Delta t \eta_{SCc}}) \leq P_{sc}(t) \leq \min(P_{SC}, \frac{E_{sc}(t) - E_{SC}}{\Delta t} \eta_{SCd}) \end{cases} \quad (10)$$

式中, $SOC_b(t)$ 、 $SOC_{sc}(t)$ —— t 时刻电池和超级电容的荷电状态; SOC_{bmax} 、 SOC_{bmin} ——蓄电池荷电状态的上下限; SOC_{scmax} 、 SOC_{scmin} ——超级电容荷电状态的上下限; $E_b(t)$ 、 $E_{sc}(t)$ —— t 时刻电池和超级电容的剩余电量, MWh; $P_b(t)$ 、 $P_{sc}(t)$ —— t 时刻电池

和超级电容的充放电功率, MW。 η_{Be} 、 η_{Bd} ——蓄电池的充电效率和放电效率; η_{SCc} 、 η_{SCd} ——超级电容的充电效率和放电效率; Δt ——采样间隔时间, min。

2.3 模型求解方法

上述混合储能系统容量优化模型是一个非线性、多变量的优化问题,可采用 Matlab 优化工具箱求解。而对小波包分解中高频分量最优分界点的求解必须建立在容量优化模型确定的基础上,通过穷举分界点 m 得到不同的混合储能功率指令分配结果,比较所对应的系统成本来确定最优分界点。因此本文优化模型的求解思路是罗列储能功率指令分界点 m 的可能取值,得到对应的不同电池和超级电容功率指令曲线代入基于电池使用寿命的混合储能容量优化模型中,比较不同分界点下的储能系统成本,从而最终确定成本最低的分界点以及相应的储能容量优化配置方案。求解方法流程图见图 2。

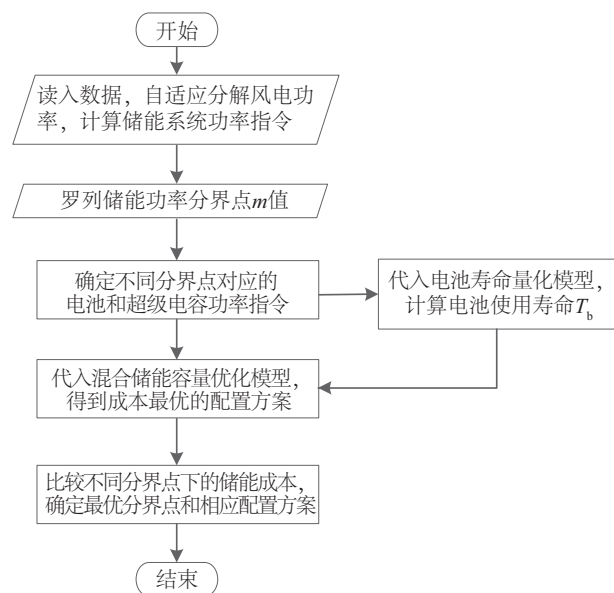


图2 求解方法流程图
Fig. 2 Flow chart of solving method

3 算例分析

本文以某 50 MW 装机容量的风电场为例,其典型日风电功率曲线和经自适应小波包分解后的并网功率以及混合储能功率指令曲线如图 3 所示,采样间隔 1 min。系统相关参数见表 2^[16]。

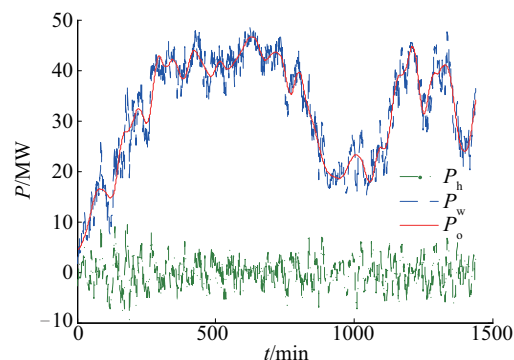


图3 风电曲线 P_w 、并网曲线 P_o 和储能指令 P_h
Fig. 3 Wind power P_w , grid-connected power P_o and power commands P_h

表2 系统相关参数

Table 2 Relative parameters for system		
对象	指标	参数
蓄 电 池	功率成本系数/万 $\text{¥}\cdot\text{MW}^{-1}$	930
	容量成本系数/万 $\text{¥}\cdot\text{MWh}^{-1}$	930
	功率运维成本系数/万 $\text{¥}\cdot\text{MW}^{-1}$	6
	容量运维成本系数/万 $\text{¥}\cdot\text{MWh}^{-1}$	0.001
	充放电效率/%	95
	SOC上下限	(0.2,0.8)
超 级 电 容	功率成本系数/万 $\text{¥}\cdot\text{MW}^{-1}$	186
	容量成本系数/万 $\text{¥}\cdot\text{MW}^{-1}$	1240
	功率运维成本系数/万 $\text{¥}\cdot\text{MW}^{-1}$	8
	容量运维成本系数/万 $\text{¥}\cdot\text{MWh}^{-1}$	0.001
	充放电效率/%	90
	SOC上下限	(0.2,0.8)
其 他	运行年限/a	20
	贴现率/%	0.1

3.1 最优分界点的确定

混合储能功率指令的中高频分量分界点不同,蓄电池和超级电容所承担的功率指令就会相应变化,从而影响蓄电池的使用寿命以及最终的容量配置结果。本文在建立混合储能容量优化配置模型的基础上,穷举储能系统功率指令中高频分界点 m 值,得到不同的电池储能功率指令曲线和超级电容功率指令曲线,计算相应的系统综合成本,绘制系统成本-分界点曲线如图 4 所示。

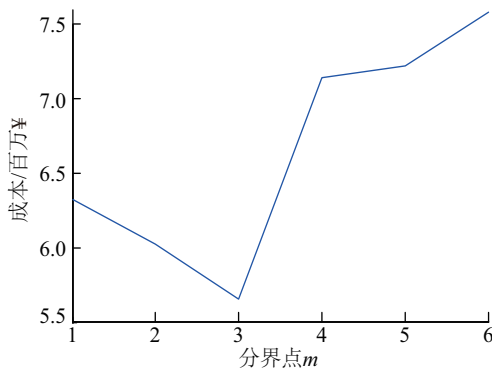


图4 系统成本-分界点曲线

Fig. 4 Curve of system cost-demarcation point

当中高频分量分界点取值偏小时,电池储能承担的功率指令过于平滑,大部分功率波动由超级电容储能平抑,这将导致对投资单价较高的超级电容的配置需求升高,不符合经济性的要求;当分界点取值偏大时,电池储能的功率指令中高频分量增多,频繁充放电转换造成电池使用寿命的缩短,同样会造成系统经济成本的升高。分界点选择过高或过低都不利于系统成本的控制。从图4中可看出,当 $m=3$,即电池储能功率指令 $P_b = P_{n_{0,1}} + P_{n_{0,2}} + P_{n_{0,3}}$ 时,对应系统成本最小。此时蓄电池和超级电容的功率指令曲线如图5所示。从图5可看出,蓄电池承担了波动相对较小、幅值较高的功率指令分量,而超级电容的功率指令波动频繁,符合2种储能设备的技术特点。

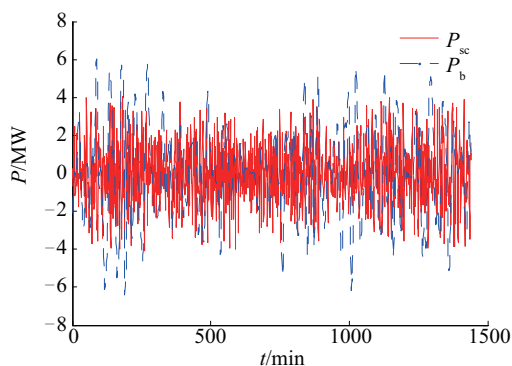


图5 蓄电池和超级电容的功率指令

Fig. 5 Power commands of battery and super capacitor

3.2 混合储能容量优化配置分析

为验证本文所提混合储能容量优化模型的正确性,同时比较不同储能设备配置方案下的经济合理性,以储能功率指令分界点取最优值为例进行计

算,储能容量优化配置结果如表3所示。

表3 储能容量优化配置结果

Table 3 Optimization results of energy storage capacity

项目	单电池	单超级电容	混合储能
E_b/MWh	17.8151		11.8626
P_b/MW	9.7423		6.1876
E_{sc}/MWh		6.9410	0.1149
P_{sc}/MW		9.4234	4.0091
成本 $\times 10^6/\text{¥}$	7.8278	10.427	5.6539
电池寿命/a	4.1997		3.8373

对比系统年综合成本可看出,单独配置超级电容来承担平抑工作的经济性最差,这主要是由于超级电容的容量成本系数较高所导致的。单电池储能系统的配置规模远大于超级电容储能系统,但由于其投资成本较低,所以总的年综合成本相对单超级电容储能系统下降了25%。

混合储能系统结合了电池和超级电容的互补技术特点,通过综合两者的成本特征合理配置储能规模,在满足平抑要求的基础上能够有效降低系统总成本。从表3可看出,混合储能系统的年综合成本相对单电池储能系统下降了27.8%。同时虽然混合储能中的电池寿命相对单电池储能下降了8.63%,但考虑到混合储能中电池储能配置规模的大幅下降,特别是其电量配置相对单电池储能下降了33.4%,可看出将电池和超级电容组合成混合储能系统并通过合理的充放电控制策略可充分发挥两者的互补优势,延长电池的使用寿命,符合理论分析结果。

4 结 论

本文针对风电场侧混合储能系统容量优化配置问题,首先基于自适应小波包分解方法处理风电功率获取符合并网波动标准的并网功率,然后将剩余波动分量在混合储能内部的合理分配问题与基于电池寿命量化模型的混合储能成本优化问题相结合,通过联合优化的求解方法得到对应系统成本最低的储能功率指令中高频分界点及相应的混合储能容量配置方案。仿真结果表明,通过上述方法所确定的分界点能够保证储能系统经济成本相对最低,验证了所提方法的有效性;同时3种储能配置方案的对比也验证了混合储能在风电平抑场合

的应用相对单一储能的技术和经济优势,值得推广应用。但本文的控制方法和配置方案都是建立在风电出力已知的基础上,后续工作将对风电平抑的实时在线控制进行进一步研究。

[参考文献]

- [1] 陈国平,李明节,许涛,等.关于新能源发展的技术瓶颈研究[J].中国电机工程学报,2017,37(1): 20—26.
- [1] Chen Guoping, Li Mingjie, Xu Tao, et al. Study on technical bottleneck of new energy development[J]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37(1): 20—26.
- [2] Vazquez S, Lukic S M, Galvan E, et al. Energy storage systems for transport and grid applications[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2010, 57(12): 3881—3895.
- [3] 江全元,龚裕仲.储能技术辅助风电并网控制的应用综述[J].电网技术,2015,39(12): 3360—3368.
- [3] Jiang Quanyuan, Gong Yuzhong. Review of wind power integration control with energy storage technology[J]. Power System Technology, 2015, 39(12): 3360—3368.
- [4] Mendis N, Muttaqi K M, Perera S. Management of battery-supercapacitor hybrid energy storage and synchronous condenser for isolated operation of PMSG based variable-speed wind turbine generating systems[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2014, 5(2): 944—953.
- [5] 郭金金,吴红斌.平抑风电波动的混合储能协调优化控制方法[J].太阳能学报,2016,37(10): 2695—2702.
- [5] Guo Jinjin, Wu Hongbing. Optimal coordination control method of hybrid energy storage to smooth wind power fluctuation[J]. Acta Energaie Solaris Sinica, 2016, 37(10): 2695—2702.
- [6] 李成,杨秀,张美霞,等.基于成本分析的超级电容器和蓄电池混合储能优化配置方案[J].电力系统自动化,2013,37(18): 20—24.
- [6] Li Cheng, Yang Xiu, Zhang Meixia, et al. Optimal configuration scheme for hybrid energy storage system of super-capacitors and batteries based on cost analysis[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(18): 20—24.
- [7] 周天沛,孙伟.风光互补发电系统混合储能单元的容量优化设计[J].太阳能学报,2015,36(3): 756—762.
- [7] Zhou Tianpei, Sun Wei. Capacity optimization of hybrid energy storage units in wind/solar generation system[J]. Acta Energaie Solaris Sinica, 2015, 36(3): 756—762.
- [8] Han X, Chen F, Cui X, et al. A power smoothing control strategy and optimized allocation of battery capacity based on hybrid storage energy technology[J]. Energies, 2012, 5(5): 1593—1612.
- [9] 李龙云,胡博,谢开贵,等.基于离散傅里叶变换的孤岛型微电网混合储能优化配置[J].电力系统自动化,2016,40(12): 108—116.
- [9] Li Longyun, Hu Bo, Xie Kaigui, et al. Capacity optimization of hybrid energy storage systems in isolated microgrids based on discrete Fourier transform[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(12): 108—116.
- [10] 罗鹏,杨天蒙,娄素华,等.基于频谱分析的微网混合储能容量优化配置[J].电网技术,2016,40(2): 376—381.
- [10] Luo Peng, Yang Tianmeng, Lou Suhua, et al. Spectrum analysis based capacity configuration of hybrid energy storage in microgrid[J]. Power System Technology, 2016, 40(2): 376—381.
- [11] 吴杰,丁明.采用自适应小波包分解的混合储能平抑风电波动控制策略[J].电力系统自动化,2017,41(3): 7—12.
- [11] Wu Jie, Ding Ming. Wind power fluctuation smoothing strategy of hybrid energy storage system using self-adaptive wavelet packet decomposition[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(3): 7—12.
- [12] 韩晓娟,陈跃燕,张浩,等.基于小波包分解的混合储能技术在平抑风电场功率波动中的应用[J].中国电机工程学报,2013,33(19): 8—13.
- [12] Han Xiaojuan, Chen Yueyan, Zhang Hao, et al. Application of hybrid energy storage technology based on wavelet packet decomposition in smoothing the fluctuations of wind power[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(19): 8—13.
- [13] 吴振威,蒋小平,马会萌,等.用于混合储能平抑光伏波动的小波包-模糊控制[J].中国电机工程学报,2014,34(1): 317—324.
- [13] Wu Zhenwei, Jiang Xiaoping, Ma Huimeng, et al. Wavelet packet-fuzzy control of hybrid energy storage systems for PV power smoothing[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(1): 317—324.

- [14] Sauer D U, Wenzl H. Comparison of different approaches for lifetime prediction of electrochemical systems—Using lead-acid batteries as example [J]. *Journal of Power Sources*, 2008, 176(2): 534—546.
- [15] Bahramirad S, Reder W, Khodaei A. Reliability-constrained optimal sizing of energy storage system in a microgrid [J]. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2012, 3(4): 2056—2062.
- [16] 张 晴, 李欣然, 杨 明, 等. 净效益最大的平抑风电功率波动的混合储能容量配置方法 [J]. *电工技术学报*, 2016, 31(14): 40—48.
- [16] Zhang Qing, Li Xinran, Yang Ming, et al. Capacity determination of hybrid energy storage system for smoothing wind power fluctuations with maximum net benefit [J]. *Transactions of China Electrotechnical Society*, 2016, 31(14): 40—48.

CAPACITY OPTIMIZATION METHOD OF HYBRID ENERGY STORAGE SYSTEM FOR WIND POWER SMOOTHING

Ding Ming, Wu Jie, Zhang Jingjing

(Anhui New Energy Utilization and Energy Saving Laboratory, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: The adaptive wavelet packet decomposition method based on the grid regulations of wind power volatility is used to decompose the wind power, and the fluctuating components after decomposition are stabilized by the hybrid energy storage system (HESS). The power commands distribution inside the HESS is combined with the system capacity allocation to solve jointly. The optimal capacity of the installed HESS based on battery lifetime model is determined, with which the annual cost of the HESS can achieve minimization, and then select the best demarcation point by comparing the system cost of different demarcation points. The best demarcation point and its corresponding energy storage configuration are verified on the typical daily output data of a real wind farm, the results reflect the technical rationality and economic practicability of the proposed method.

Keywords: wind power; energy storage; life cycle; wavelet packet decomposition