

文章编号: 0254-0096(2020)09-0078-08

基于自适应小波包分解的混合储能平抑 高渗透率光伏社区电网电压波动方法

王育飞¹, 王成龙¹, 李盟盟², 薛花¹

(1. 上海电力大学电气工程学院, 上海 200090; 2. 国网北京市电力公司, 北京 100031)

摘要: 以高密度光伏社区电网为研究对象, 针对光伏输出功率变动引起的电网电压波动问题, 提出一种基于自适应小波包分解的混合储能系统平抑方法。首先分析光伏输出功率变动引起电网电压波动的机理, 并根据光伏输出变动幅频特性及储能体的性能特点确定混合储能的补偿频段。然后针对实时小波包分解方法延迟效应造成提取各频段成分不准确的问题, 提出根据光伏输出功率变动引起的电压波动确定小波包分解层数, 从而减小实时小波包分解方法的延迟, 使其具有自适应能力。最后仿真对比传统小波包分解方法与自适应小波包分解方法的平抑效果, 结果表明提出的方法可提高提取各频段成分的准确性, 平抑效果优于传统小波包分解方法。

关键词: 分布式发电; 电力储能; 电压控制; 高渗透率光伏; 自适应小波包分解

中图分类号: TM716

文献标志码: A

0 引言

由于光伏发电的简易性和适应性, 使分布式光伏与其他可再生能源相比更宜在城市中推广, 光伏发电由大型集中并网向大规模分布式并网转变^[1-2]。随着分布式光伏的广泛应用, 配电系统由单一电源网络转变为多电源网络, 引起电力系统潮流分布及电压改变, 同时由于光伏输出功率具有不稳定性, 可能造成公共连接点(PCC)电压波动与闪变^[3]。因此, 研究高渗透率光伏并网引起的社区电网电压波动问题及其平抑方法具有重要意义^[4]。如何平抑光伏输出功率变动是解决高渗透率光伏对社区电网影响的关键^[5]。蓄电池与超级电容在充放电特性上具有各自的优势, 构成的混合储能系统应用于平抑光伏功率变动成为目前的研究热点^[6-7]。为充分发挥混合储能系统有限的容量, 需要根据不同类型储能体的性能特点分配充放电功率, 这对混合储能系统功率分配方法提出更高的要求^[8]。

文献[9]提出应用于混合储能平抑风电场输出功率变动的小波包分解方法, 改善了混合储能系统抑制风电输出功率变动的效果。文献[10]提出利用小波分解方

法分析光伏并网功率的幅频信息, 结合不同储能系统的特性得出各自的充放电功率, 同时利用超级电容 SOC 的模糊自适应算法对功率进行二次修正。但针对实时小波包分解的延迟问题仅采用设置阈值进行消除, 使小波分解算法不具备自适应能力。文献[11]针对风电功率变动对电网造成的负面影响问题, 提出一种基于小波包分解的滤波方法及混合储能系统容量配置策略, 改善了混合储能系统平抑风电功率变动的效果。文献[12]针对不同风电出力场景下功率变动特性, 采用自适应小波包分解算法分解风电功率信号并实现混合储能系统的功率分配, 利用模糊优化算法对充放电功率进行二次修正, 但采用逐层小波包分解方法增加了算法的复杂程度。小波包分解方法具有良好的多分辨率特性, 适合应用在混合储能系统功率分配中, 但针对实时小波包分解方法提取各频段分量时存在的延迟问题及解决方法研究较少。

本文针对高渗透率光伏引起社区电网电压波动问题, 提出适应不同光伏输出功率变动情况的自适应小波包分解方法, 该方法根据光伏输出功率变动引起的电压波动情况确定小波包分解层数, 进而确定混合储能的功

收稿日期: 2018-04-02

基金项目: 上海市科技创新行动计划(19DZ2204700; 16DZ0503300); 上海绿色能源并网工程技术研究中心(13DZ2251900)

通信作者: 王育飞(1974—), 男, 博士、教授, 主要从事电能质量分析与控制、电力储能应用技术、混沌理论与应用等方面的研究。
wangyufei@shiep.edu.cn

率分配。首先研究高渗透率光伏引起社区电网电压波动的机理,利用 OpenDSS 软件仿真比较不同渗透率下光伏输出功率变动对社区电网电压的影响。然后采用提出的自适应小波包分解方法提取光伏输出功率低频分量,完成混合储能系统内功率分配。最后通过 Matlab/Simulink 与 OpenDSS 的联合仿真验证该方法的有效性。

1 高渗透率光伏社区电网电压波动特性

通常配电系统为单电源辐射状网络结构,而当高渗透率光伏接入时,系统转变为多电源的复杂拓扑结构。高渗透率光伏社区电网模型如图 1 所示,分布式光伏等效为在 PCC 集中并网。图 1 中, $Z\angle\theta$ 为线路阻抗 (θ 为线路阻抗角); P_{pv} 、 Q_{pv} 分别为光伏逆变器并网有功功率与无功功率; P_L 、 Q_L 分别为负荷有功功率与无功功率; U 、 U_L 分别为电网电压与 PCC 的电压; δ 为 PCC 电压相角。

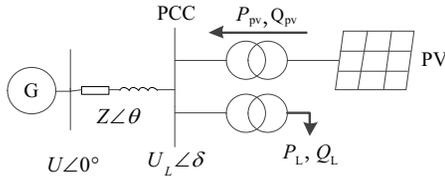


图1 高渗透率光伏社区电网简化模型

Fig. 1 Simplified model of high permeability PV in grid

由潮流计算公式可得^[3]:

$$P_L - P_{pv} = \frac{UU_L}{Z} \cos(\delta + \theta) - \frac{U_L^2}{Z} \cos \theta \quad (1)$$

$$Q_L - Q_{pv} = \frac{UU_L}{Z} \sin(\delta + \theta) - \frac{U_L^2}{Z} \sin \theta \quad (2)$$

令:

$$\begin{cases} P = P_L - P_{pv} \\ Q = Q_L - Q_{pv} \end{cases} \quad (3)$$

由式(1)、式(2)可得:

$$U_L^4 + U_L^2(2PZ \cos \theta + 2QZ \sin \theta - U^2) + (P^2 + Q^2)Z^2 = 0 \quad (4)$$

由式(4)求导可得:

$$\frac{\partial U_L}{\partial P_{pv}} = \frac{(U_L^2 Z \cos \theta + PZ^2)}{2U_L^3 + U_L(2PZ \cos \theta + 2QZ \sin \theta - U^2)} \quad (5)$$

国家标准 GB/T 12326—2008 定义了电压波动的计算方法,如式(6)所示:

$$d = \frac{|\Delta U|}{U_N} \times 100\% \quad (6)$$

式中, d —— 电网电压波动幅度; U_N —— 电网额定电压。

将电压波动量, $\Delta U_L = \frac{\partial U_L}{\partial P_{pv}} \Delta P_{pv}$, 代入式(6), 可得:

$$\begin{aligned} d &= \frac{|\Delta U_L|}{U} \times 100\% \\ &= \frac{\partial U_L}{\partial P_{pv}} = \frac{|(U_L^2 Z \cos \theta + PZ^2)P_{pv}|}{|2U_L^3 + U_L(2PZ \cos \theta + 2QZ \sin \theta - U^2)|} \times 100\% \end{aligned} \quad (7)$$

式中, ΔP_{pv} —— 光伏逆变器并网有功功率变化量。

由于光伏逆变器并网功率因数一般为固定值, 令:

$$Q_{pv} = \sqrt{1 - \lambda^2} \frac{P_{pv}}{\lambda} \quad (8)$$

式中, λ —— 光伏逆变器并网功率因数。

在给定负荷功率的情况下分析光伏输出功率变化和社区电网 R/X 比值, 即电阻与电抗的比值变化造成的 PCC 电压波动, 可得到图 2。由图 2 可看出, PCC 电压波动和光伏功率与节点负荷功率的比值密切相关, 同时受线路 R/X 比值影响较大。随着光伏输出功率的升高, PCC 电压波动更加剧烈, 同时随着 R/X 比值提高, PCC 电压波动也更加剧烈。

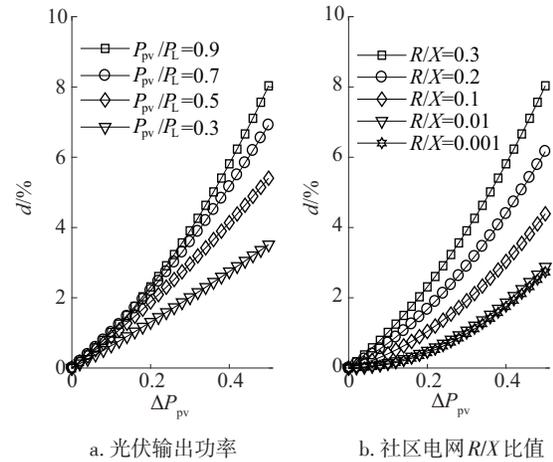


图2 不同条件下PCC电压波动

Fig. 2 Voltage fluctuation of PCC under different conditions

2 基于自适应小波包分解的混合储能系统功率分配方法

2.1 配置混合储能的光伏发电系统

配置混合储能的光伏发电系统如图 3 所示。由铅酸电池和超级电容组成的混合储能系统提供补偿功率, 抑制由光伏引起的电压波动。图 3 中, P_b 为铅酸电池功率信号; P_{sc} 为超级电容功率信号 (以 $P_b > 0$ 或 $P_{sc} > 0$)

表示充电; $P_b < 0$ 或 $P_{sc} < 0$ 表示放电)。由于铅酸电池具有能量密度大、响应时间长和循环寿命低的特性,可利用铅酸电池吸收光伏功率信号中波动幅值大、频率低的成分,而超级电容具有功率密度大和响应时间短的特性,可利用超级电容补偿幅值小、频率高的成分,使 2 种类型的储能优势互补。

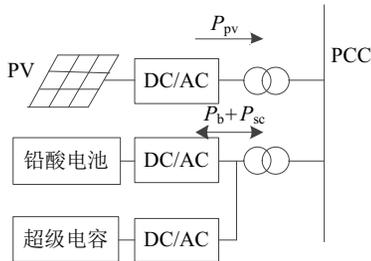


图 3 光伏发电与混合储能系统

Fig. 3 PV generation system with hybrid energy storage

2.2 光伏功率信号的自适应小波分解

光伏功率信号 n 层小波包分解示意图如图 4 所示。图 4 中, S 为光伏功率原始信号。采样频率为 $1/60$ Hz。

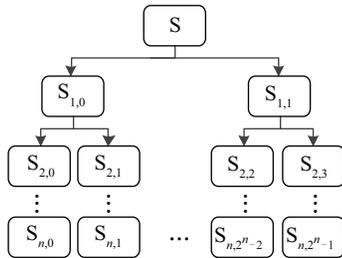


图 4 小波包分解示意图

Fig. 4 Sketch map of wavelet packet decomposition

由图 4 可知小波包分解将原始信号分解为 2^n 个频段,在结构上形成一个完整的二叉树。第 i 层每个频段宽度为:

$$f_0 = \frac{1}{60} \div 2^{n+1} \quad (7)$$

$S_{n,0}$ 频段的频率范围为 $0 \sim f_0$, $S_{n,1}$ 频段的频率范围为 $f_0 \sim 2f_0$, 依次类推。 $S_{6,0}$ 频段频率范围为 $0.00 \sim 1.30 \times 10^{-4}$ Hz, 与光伏输出能量集中的 $0 \sim 1 \times 10^{-4}$ Hz 频率范围接近^[13], 所以将光伏功率信号进行 6 层分解, 并将 $S_{6,0}$ 频段的信号成分作为光伏功率的平抑目标。设第 i 层第 j 个频段的信号成分为 P_{ij} , 输出目标功率为 P_g , 则有:

$$P_g = P_{6,0} \quad (8)$$

实际运行时,光伏发电功率是实时采样获得的,传统小波包分解算法仅能对当前功率信号及历史功率

信号进行处理。例如提取光伏输出功率平抑目标 P_g 需将数据进行 6 层小波分解并重构,利用该方法得到的平抑目标功率如图 5 所示,从图中可以看出目标功率与光伏输出功率之间有明显延迟,使得传统小波包分解得到的目标功率不能准确地反映光伏发电功率的变化趋势。

为减小延迟效应的影响,提出一种新的自适应小波包分解方法。在光伏输出功率较为平滑时,需要降低小波包分解层数,以减小目标功率的延迟。在光伏输出功率变化较为剧烈时需要提高小波包分解层数,提取光伏发电功率的低频分量作为平抑目标。基于以上思想提出根据光伏输出功率变动引起的电网电压波动程度确定分解层数的自适应小波包分解方法。

首先,对 1 h 内的光伏输出功率信号进行 6 层小波包分解,重构 $S_{6,0}$ 频段的信号。计算光伏输出信号与 $S_{6,0}$ 频段信号的差值均方根 ΔP , 如式(9)所示:

$$\Delta P = \sqrt{\sum (P_{pv} - P_{6,0})^2 / T} \quad (9)$$

式中, T ——信号时间长度。

然后将 ΔP 及光伏当前输出功率信号代入式(7)计算出电网电压波动;并根据电网电压波动选择小波包分解层数 k , 如式(10)所示:

$$k = \begin{cases} 3, & d < 1\% \\ 4, & 1\% \leq d < 1.5\% \\ 5, & 1.5\% \leq d < 2\% \\ 6, & d \geq 2\% \end{cases} \quad (10)$$

最后重构第 k 层低频信号,将 $S_{k,0}$ 频段的信号成分作为光伏平抑的目标功率。采用自适应小波包分解得到的目标功率更加准确,当光伏发电功率较为平滑时目标功率延迟较小。

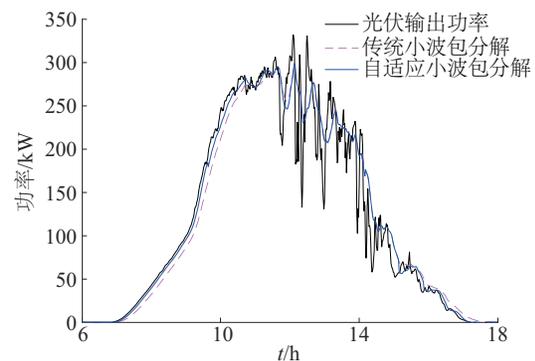


图 5 自适应小波包分解方法消除延迟效应

Fig. 5 Filter delay effect is compensated through self-adaptive wavelet packet decomposition

2.3 混合储能系统功率分配

利用小波包分解方法良好的多分辨率特性得到光伏发电功率在不同频段的成分。使依据铅酸电池或超级电容的响应频率对光伏发电功率高频成分进行分配成为可能。考虑到铅酸电池的使用寿命受充电与放电的转换次数影响及超级电容适用于快速充放电的特点,需要铅酸电池的充放电功率指令在充电与放电之间转换频率较低,而超级电容的充放电功率指令转换频率较高。铅酸电池充放电响应时间在数分钟到数小时,而超级电容充放电响应时间在数秒钟到数分钟^[14]。因此选择 1 h 作为铅酸电池充放电转换周期,对应频率为 2.78×10^{-4} Hz, 铅酸电池充放电指令变化频率范围为 $1.00 \times 10^{-4} \sim 2.78 \times 10^{-4}$ Hz, 定义此频段为次高频; 选择 3 min 作为超级电容充放电转换周期, 对应频率为 5.56×10^{-3} Hz, 超级电容充放电指令变化频率范围为 $2.78 \times 10^{-4} \sim 5.56 \times 10^{-3}$ Hz, 定义此频段为最高频。

对光伏发电功率信号进行 k 层小波包分解后, 选择与铅酸电池或超级电容充放电指令变化频率范围最接近的频段作为铅酸电池或超级电容的补偿频段。例如经 6 层小波包分解后, 铅酸电池充放电指令变化频率与 $S_{6,2}$ 频段的频率范围 $1.30 \times 10^{-4} \sim 2.60 \times 10^{-4}$ Hz 接近; 超级电容充放电指令变化频率与 $S_{6,3} - S_{6,43}$ 频段的频率范围 $2.60 \times 10^{-4} \sim 5.59 \times 10^{-3}$ Hz 接近。因此将 $S_{6,2}$ 频段的信号成分作为铅酸电池充放电指令, $S_{6,3} - S_{6,42}$ 频段的信号成分作为超级电容充放电指令信号。设经 k 层小波包分解后与铅酸电池充放电指令变化频率最接近频段为 $S_{k,a1} - S_{k,a2}$ (下标 $a1$ 、 $a2$ 分别代表铅酸电池对应的 k 层小波包分解后的频段数), 与超级电容充放电指令变化频率最接近的频段 $S_{k,b1} - S_{k,b2}$ (下标 $b1$ 、 $b2$ 分别代表超级电容器对应的 k 层小波包分解后的频段数), 则有:

$$P_b = P_{k,a1} + P_{k,a1+1} + \dots + P_{k,a2} \quad (11)$$

$$P_{sc} = P_{k,b1} + P_{k,b1+1} + \dots + P_{k,b2} \quad (12)$$

自适应小波包分解算法流程图如图 6 所示。

3 仿真及结果分析

3.1 高渗透率光伏社区电网电压波动

高渗透率光伏引起的电网电压波动与线路参数有密切的联系, 为使仿真接近实际情况, 以某典型社区电网实际参数建立社区电网模型^[15], 如图 7 所示。图 7

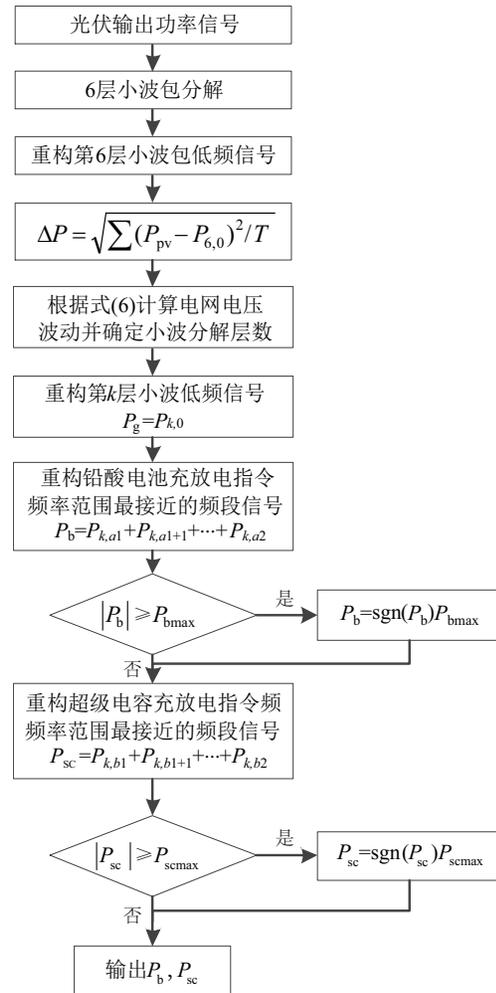


图 6 自适应小波包分解算法流程图

Fig. 6 Flow chart of self-adaption wavelet packet decomposition algorithm

中, $Z_0 \sim Z_4$ 为线路阻抗 (其中 Z_0 和 Z_1 为架空线路阻抗; Z_2 、 Z_3 及 Z_4 为地下电缆阻抗)。负荷容量为 2.5 MVA, 功率因数为 0.85。图 7 中线路阻抗参数如表 1 所示。

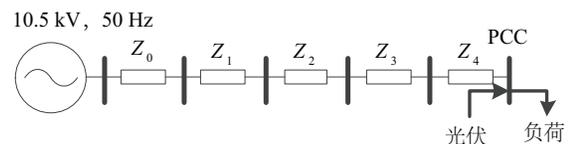


图 7 高渗透率光伏社区电网模型

Fig. 7 Community grid model with high permeability PV

采集某高渗透率光伏社区电网光伏发电功率信号及负载信号。在美国电科院 (EPRI) 开发的配电网仿真软件 OpenDSS 环境下, 按照图 7 及表 1 的结构及参数搭建社区电网模型, 模型中的光伏发电功率按照采集到的数据变化。

表1 社区电网线路阻抗参数

Table 1 Line impedance parameter of community grid

线路阻抗	阻抗/ Ω	R/X
Z_0	$5.4+j6.94$	0.778
Z_1	$1.35+j1.735$	0.778
Z_2	$1.35+j1.735$	0.778
Z_3	$4.613+j0.301$	2.785
Z_4	$9.226+j0.602$	2.785

采用光伏发电功率剧烈变动时段的数据进行仿真,比较不同渗透率下光伏发电功率变动造成的PCC电压波动,光伏功率数据如图5所示。不同渗透率下电压波动如图8所示。由图8可知,PCC电压波动情况受光伏渗透率的影响比较明显,随着光伏渗透率的增大,由光伏输出功率变动造成的PCC电压波动问题逐渐严重,这与理论分析结果相同。渗透率为100%时,PCC最大电压波动超过国家标准规定的3%,可能影响电网的安全运行。

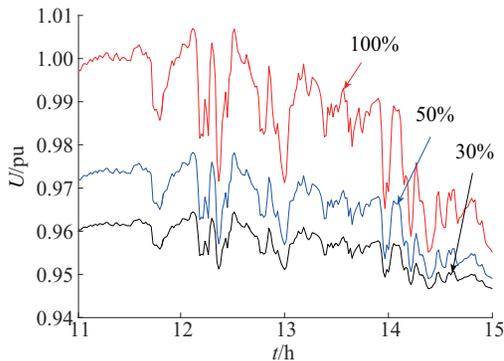


图8 不同渗透率下PCC电压波动

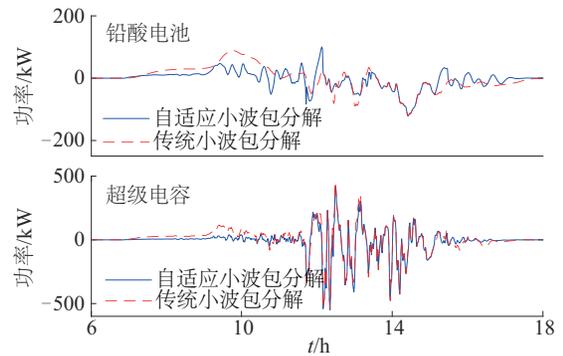
Fig. 8 Voltage fluctuation of PCC under different permeability

3.2 混合储能平抑高渗透率光伏社区电网电压波动

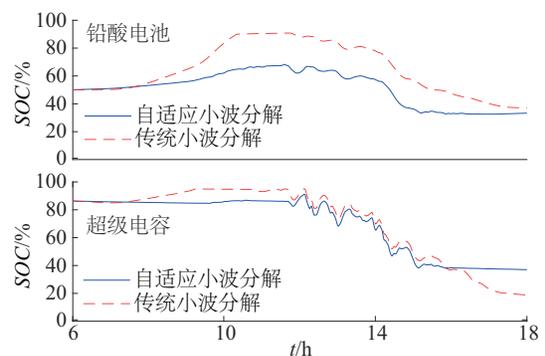
为验证所提方法平抑高渗透率光伏社区电网电压波动的效果,在光伏渗透率为100%情况下进行仿真分析。在Matlab/Simulink环境下建立混合储能系统模型,考虑到储能系统的循环寿命及成本计算混合储能系统容量^[16],计算得到铅酸电池和超级电容容量分别为807.5 kWh和131.5 kWh,额定充放电功率分别为150 kW和4500 kW,允许充放电深度分别为10%~90%和5%~95%。分别采用传统小波包分解方法与自适应小波包分解方法计算混合储能系统充放电指令信号,将仿真得到的平抑后的光伏发电功率导入到OpenDSS

中。平抑效果与社区电网电压波动对比如图9所示,其中电压基准值为10 kV。

从图9a可看出,传统小波包分解方法计算出的铅酸电池和超级电容充放电指令无法准确反映光伏输出功率信号中的次高频与最高频成分。在光伏发电功率较为平滑的上升阶段或下降阶段,计算出的充放电指令信号使储能系统长期工作在充电或者放电状态。而提出的自适应小波包分解方法能够准确提取光伏发电功率信号中的次高频与最高频成分。从图9b和图9c可看出,传统小波包分解方法计算出的充放电指令使混合储能系统在平抑光伏发电功率变动时进行深度充放电,甚至达到充放电深度的边界而影响平抑效果。而由于提出的自适应小波包分解方法准确提取了光伏发电功率信号的变动成分,降低了混合储能系统的充放电深度,减少了混合储能系统的容量越限,达到了平抑光伏功率变动的目的。从图9d可看出,基于传统小波包分解方法的混合储能系统平抑后,高渗透光伏引起的电网电压波动有一定改善,但仍有较大波动情况出现。而基于自适应小波包分解方法的混合储能系统基本达到平抑目标,降低光伏输出功率变动的幅值,改善了高渗透光伏引起的电网电压波动。图9e给出了经传统小波包分解方法与自适应小波包分解方法平抑后各自达到平抑目标百分比。



a. 混合储能系统功率指令



b. 储能SOC变化曲线

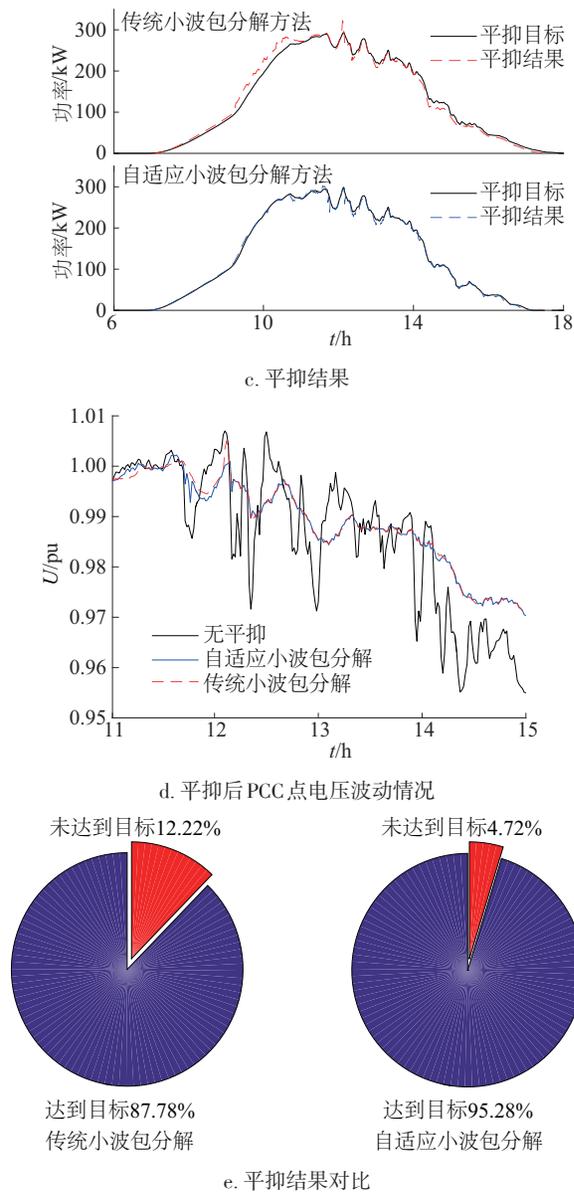


图9 混合储能系统平抑效果

Fig. 9 Simulation result of hybrid energy storage system

4 结论

以高渗透率光伏社区电网为研究对象,分析了高渗透光伏功率变动引起的电网电压波动问题的影响因素,提出了一种基于自适应小波包分解的混合储能系统平抑方法,该方法可以根据光伏输出功率变动情况调整小波包分解的层数,从而对不同程度的光伏功率变动具有自适应能力。仿真验证了该方法的有效性,得出以下结论:

1)电网电压波动幅值与社区电网中光伏的渗透率和社区电网线路 R/X 值有密切联系。社区电网中线路

R/X 值较高,加剧了光伏功率变动引起的电网电压波动。

2)相比于传统小波包分解算法,自适应小波包分解算法提高了提取次高频及最高频成分的准确性;平抑效果优于传统小波包分解算法,且降低了混合储能的充放电深度。

[参考文献]

- [1] 傅质馨,李乔木,袁越,等. 分布式光伏发电系统监控网络节点休眠调度机制研究[J]. 太阳能学报, 2016, 37(4): 853-860.
FU Z X, LI Q M, YUAN Y, et al. Research of sleep scheduling mechanism of monitoring network nodes of distributed PV systems[J]. Acta energiae solaris sinica, 2016, 37(4): 853-860.
- [2] 刘兴杰, 邹旭东, 王凯龙. 含大量DPVS的配电网反时限电流保护研究[J]. 太阳能学报, 2017, 38(1): 231-238.
LIU X J, WU X D, WANG K L. Study on inverse time current protection for distribution feeders with high penetration of DPVS [J]. Acta energiae solaris sinica, 2017, 38(1): 231-238.
- [3] 周林, 邵念彬. 大型光伏电站无功电压控制策略[J]. 电力自动化设备, 2016, 36(4): 116-128.
ZHOU L, SHAO N B. Reactive-power and voltage control for large-scale grid-connected photovoltaic plants [J]. Electric power automation equipment, 2016, 36(4): 116-128.
- [4] ALI S, PORIA F, IQBAL H. Reactive power management for overvoltage prevention at high PV penetration in a low-voltage distribution system[J]. IEEE transactions on industry applications, 2017, 53(6): 5786-5794.
- [5] 樊飞龙, 邵能灵, 郑晓冬, 等. 基于前推回代优化算法的社区能源网络有功实时调配策略[J]. 中国电机工程学报, 2016, 29(10): 1-11.
FAN F L, TAI N L, ZHENG X D, et al. Real-time deployment strategy of the active power in community energy networks based on back/forward optimization algorithm[J]. Proceedings of the CSEE, 2016, 29(10): 1-11.
- [6] JIANG W, ZHANG L, ZHAO H, et al. Research on power sharing strategy of hybrid energy storage system in photovoltaic power station based on multi-objective

- optimisation[J]. IET renew power generation, 2016, 10 (5): 575-583.
- [7] SUWAT S, PONGSIRI M, CHAINARIN E, et al. Control of high-energy high-power densities storage devices by Li-ion battery and supercapacitor for fuel cell/ photovoltaic hybrid power plant for autonomous system applications[J]. IEEE transactions on industry applications, 2016, 52(5): 4395-4407.
- [8] 田春光, 田利, 李德鑫, 等. 基于混合储能系统跟踪光伏发电输出功率的控制策略[J]. 电工技术学报, 2016, 31(14): 76-83.
- TIAN C G, TIAN L, LI D X, et al. Control strategy for tracking the output power of photovoltaic power generation based on hybrid energy storage system [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2016, 31(14): 76-83.
- [9] 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.
- HAN X J, CHEN Y Y, ZHANG H, 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.
- [10] 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(3): 317-324.
- WU Z W, JIANG X P, MA H M, et al. Wavelet packet-fuzzy control of hybrid energy storage systems for PV power smoothing [J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(3): 317-324.
- [11] JIANG Q Y, HONG H S. Wavelet-based capacity configuration and coordinated control of hybrid energy storage system for smoothing out wind power fluctuations [J]. IEEE transactions on power systems, 2013, 28 (2): 1363-1372.
- [12] 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.
- WU J, DING M. 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.
- [13] DAMITH B W A, BRANISLAV H, VASSILIOS G A, et al. Supercapacitor sizing method for energy-controlled filter-based hybrid energy storage systems [J]. IEEE transactions on power electronics, 2017, 32(2): 1626-1637.
- [14] DENG J D, SHI J, LIU Y, et al. Application of a hybrid energy storage system in the fast charging station of electric vehicles [J]. IET generation transmission & distribution, 2015, 10(4): 1092-1097.
- [15] 孙景钉, 李永丽, 李盛伟, 等. 含逆变型分布式电源配电网自适应电流速断保护[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(14): 71-76.
- SUN J L, LI Y L, LI S W, et al. Study on adaptive current instantaneous trip protection scheme for distribution network with inverter interfaced DG [J]. Automation of electric power systems, 2009, 33(14): 71-76.
- [16] 王慧娟. 超级电容-蓄电池混合储能系统容量优化配置方法研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2017.
- WANG H J. Research on capacity optimization of energy storage system of super capacitor-battery [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2017.

STABILIZE VOLTAGE FLUCTUATION OF COMMUNITY GRID CAUSED BY HIGH PERMEABILITY PHOTOVOLTAICS BASED ON SELF-ADAPTION WAVELET PACKET DECOMPOSITION

Wang Yufei¹, Wang Chenglong¹, Li Mengmeng², Xue Hua¹

(1. College of Electrical Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China;

2. State Grid Beijing Electric Power Company, Beijing 100031, China)

Abstract: Based on the study of high density PV power grid, a stabilization method of hybrid energy storage system based on self-adaption wavelet packet decomposition is proposed, which aim at the grid voltage fluctuation caused by the power change of PV. Firstly, the generation mechanism of grid voltage fluctuation caused by the change of PV power is analyzed, and the output frequency range of different energy storage systems is determined according to the characteristics of PV output and different energy storage systems. And then the wavelet packet decomposition level is determined according to the voltage fluctuation caused by the change of the output power, which aim at the inaccurate of real-time wavelet packet decomposition caused by the delay effect. So that the delay effect of the real-time wavelet packet decomposition is eliminated giving it the ability of self-adaptation. Finally the simulated comparison of the traditional wavelet packet decomposition and self-adaption wavelet packet decomposition show that the proposed method improves the accuracy, and the control effect is better.

Keywords: distributed power generation; electric energy storage; voltage control; high-penetration PV; self-adaption wavelet packet decomposition