

DOI:10.14044/j.1674-1757.pcrpc.2026.02.003

基于 VSG 的光储系统参与一次调频研究

冯浩¹, 王博², 葛树俊³, 李崇晟², 杨永军², 闫伟¹, 张慧强³, 赵先进²,
杜金刚², 高泽², 栾丛超², 王大鹏², 冯雪君⁴

(1. 华能济宁运河发电有限公司, 山东 济宁 272000; 2. 西安热工研究院有限公司, 西安 710000; 3. 山东和信智能科技有限公司, 济南 250101; 4. 北方联合电力有限责任公司, 呼和浩特 010020)

摘要: 针对高比例新能源并网导致系统惯量下降、阻尼不足, 进而削弱电网频率稳定性的关键问题, 本文提出一种改进型虚拟同步发电机(virtual synchronous generator, VSG)控制策略以提升光储系统的调频能力。首先, 构建了包含下垂控制、电压电流双闭环及储能协调的完整 VSG 模型; 然后, 在 Matlab/Simulink 中搭建光储联合发电系统仿真平台, 模拟电网频率阶跃扰动与光照强度突变等典型工况; 最后, 通过对比分析系统动态响应, 验证所提策略的有效性。仿真结果表明, 当电网频率在 2 s 内骤降 0.1 Hz 时, 所提策略能有效调动储能单元, 在 4 s 内快速提供约 10 kW 的额外有功功率支撑, 成功实现了对 150 kW 功率指令的精确跟踪, 同时将直流母线电压波动严格控制在设定值(2 000 V)附近。研究表明, 该改进型 VSG 控制策略显著增强了光储系统的一次调频响应速度与动态稳定性, 为高渗透率可再生能源电网的安全稳定运行提供了有效的技术支持。

关键词: 虚拟同步发电机; 光伏发电; 储能系统; 下垂控制; 频率调节

Research on Primary Frequency Regulation of Photovoltaic-storage System Based on Virtual Synchronous Generator

FENG Hao¹, WANG Bo², GE Shujun³, LI Chongsheng², YANG Yongjun², YAN Wei¹,
ZHANG Huiqiang³, ZHAO Xianjin², DU Jingang², GAO Ze², LUAN Congchao²,
WANG Dapeng², FENG Xuejun⁴

(1. Huaneng Jining Yunhe Power Generation Co., Ltd., Shandong Jining 272000, China;
2. Xi'an Thermal Power Research Institute Co., Ltd., Xi'an 710000, China;
3. Shandong Hexin Intelligent Technology Co., Ltd., Jinan 250101, China;
4. North China United Electric Power Co., Ltd., Hohhot 010020, China)

Abstract: As for such critical issues as reduced system inertia and insufficient damping caused by the high-penetration renewable integration, which subsequently weakens grid frequency stability, an improved virtual synchronous generator (virtual synchronous generator, VSG) control strategy is proposed to enhance the frequency regulation capability of photovoltaic-energy storage (PV-ES) systems. First, a complete VSG model incorporating droop control, dual-closed-loop for voltage and current closed-loop regulation as well as energy storage coordination is constructed. Then, a simulation platform for the PV-ES system combined with power generation system is set up in MATLAB/Simulink to emulate such typical operating conditions as grid frequency step disturbances and sudden irradiance fluctuations. Finally, the effectiveness of the proposed strategy is verified by comparing and analyzing dynamic responses of system. The simulation results show that when the grid frequency drops abruptly by 0.1 Hz within 2 seconds, the proposed strategy can effectively dispatch the energy storage unit to deliver approximately 10 kW of additional active power

收稿日期: 2026-02-03; 修回日期: 2026-02-26

基金项目: 陕西省重点研发计划(2024GX-YBXM-442); 中国华能集团有限公司总部科技项目(HNKJ24-H159)。

Project Supported by Shaanxi Provincial Key Research and Development Program(2024GX-YBXM-442); Science and Technology Project of the Headquarters of China Huaneng Group Co., Ltd., Headquarters Science and Technology Project (HNKJ24-H159)。

within 4 seconds, achieving successfully precise tracking of a 150 kW power reference while maintaining the DC-link voltage fluctuation around the setting value (2 000 V). This research demonstrates that the enhanced VSG control strategy significantly improves the primary frequency response speed and dynamic stability of PV-ES systems, offering an effective a technical support for safe and stable operation of power grids with high renewable penetration.

Keywords: virtual synchronous generator (VSG); photovoltaic generation; energy storage system; droop control; frequency regulation

0 引言

随着化石燃料的枯竭和低碳减排的要求,全球电力能源系统正面临一定程度上的变革。近些年来随着电力电子元器件成本逐步下降以及可再生能源技术的日益成熟,太阳能和其他可再生能源技术备受关注^[1-7]。现代电力系统因具有较高的新能源渗透率,正在逐渐变得比传统的基于同步发电机的系统更加复杂,随着新能源在电力系统中的应用越来越重要,配电网中分布式电源的比例也逐渐增加^[8-14]。从电网运行角度来看,高渗透率新能源的发展需要解决两个关键问题:1)太阳能和风能发电具有随机性与波动性,它们的输出会随着环境的改变而变化,由此导致在电力需求高峰期对电力系统平衡和资源充足性的挑战^[15-20];2)新能源通过电力电子变换器进入电网后,大量分布式的电力电子器件代替了传统的同步发电机,导致低惯性问题,对电网的安全和稳定构成了极大的威胁^[21-25]。

针对该问题,虚拟同步发电机技术一经提出就受到国内外学者的高度重视与关注^[1-2]。被越来越广泛的应用在含有光伏发电的电力系统,通过电力电子变换器控制上的改进,使得光伏逆变器具有频率支撑的能力。基于虚拟同步发电机技术的光伏逆变器在参与电网调频时,光伏并网系统像同步发电机的转子一样可以根据频率变化提供额外的能量^[3]。因此光伏并网系统在运行时需配备储能设备或保留部分有功功率,前者通常需要对并网系统进行改造,且储能设备成本较高,除了提供或吸收调频时的额外能量,还可以抑制光伏电池的功率波动,平缓输入电网的功率^[26-33];后者无需额外的硬件支持,控制简单,可以实现光伏系统的大规模改造。

1 并网光伏逆变器虚拟同步发电机控制策略

光伏逆变作为光伏发电系统的核心部件之一,与电网的互联与工作中,一般需要采取一系列控制策略以确保系统的稳定性、效率 and 安全性。本节将详细介绍并网光伏逆变器的控制策略,其中重点讨

论虚拟同步发电机(virtual synchronous generator, VSG)控制策略的原理、设计和应用。虚拟同步发电机控制策略是一种先进的控制技术,它可以模拟传统同步发电机的运行方式,从而实现与电网的稳定连接。

1.1 下垂特性

下垂特性是指为 VSG 在参与电网调节时,随着电网频率的变化,输出电压会相应下降,以维持电力系统的稳定性。其实现过程为:电网负荷的增加会促使机组转速降低,随之带来电网频率的下降,发电机的做功出力上升,反之亦然。因此 VSG 的下垂特性对于电网控制至关重要。图 1 为 VSG 的等效电路图,其有功功率、无功功率的传递模型公式为

$$P_A = \frac{V_A}{R^2 + X^2} [R(V_A - V_B \cos \delta) + X V_B \sin \delta] \quad (1)$$

$$Q_A = \frac{V_A}{R^2 + X^2} [-R V_B \sin \delta + X(V_A - V_B \cos \delta)] \quad (2)$$

式中: δ 对应着两个电压矢量之间的相位差; P_A 和 Q_A 分别为从 VSG(A) 流向电网(B) 的有功功率和无功功率; $Z = R + jX$ 为线路阻抗; θ 为线路阻抗角,且 $R = Z \cos \theta$ 和 $X = Z \sin \theta$; V_A 和 V_B 为 VSG 和电网的电压大小。

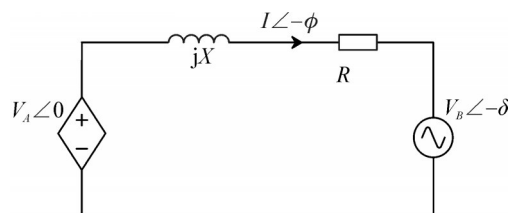


图1 虚拟同步机与电网相连的简化等效电路图
Fig. 1 Simplified equivalent circuit diagram of a virtual synchronous generator connected to the grid

一般来说,电路中的电阻阻抗分量远远小于电感阻抗分量,因此可以忽略不计。此外,由于功率角数值较小,在分析中可进一步简化计算。因此本文在分析中假设 $\sin \delta \approx \delta$ 和 $\cos \delta \approx 1$ 。上述两式可重新表达为

$$P_A \approx \frac{V_A}{X} (V_B \sin \delta) \Rightarrow \delta \approx \frac{X P_A}{V_A V_B} \quad (3)$$

$$Q_A \approx \frac{V_A}{X}(V_A - V_B \cos \delta) \Rightarrow V_A - V_B \approx \frac{XQ_A}{V_A} \quad (4)$$

有功、无功功率与电网频率、电压之间的关系为

$$f - f_0 = -k_p(P - P_0) \quad (5)$$

$$V - V_0 = -k_q(Q - Q_0) \quad (6)$$

式中: $f - f_0$ 和 $V - V_0$ 分别表示电网频率与电网电压与其额定值的偏差; $P - P_0$ 和 $Q - Q_0$ 为 VSG 为补偿这些偏差而提供的有功功率; k_p 和 k_q 分别为频率与电压下垂特性的斜率。频率和电压下垂特性如图 2 所示。通过改变 k_p 和 k_q 的参数设置, 即频率和电压下垂特性的斜率, VSG 根据其 P/f 和 Q/V 的下垂特性让其分别参与电网的调频、调压^[4]。

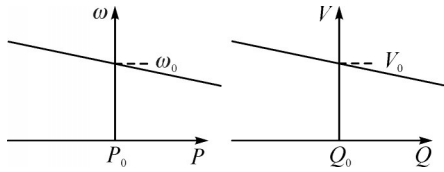


图2 频率与电压下垂特性

Fig. 2 Frequency and voltage droop characteristics

1.2 电压电流双闭环

电压电流双闭环控制由电压环和电流环两个控制环组成, 用以实现对逆变电源的双闭环控制。两个闭环以反馈方式交互作用, 以准确地控制逆变器的输出。

该技术可以提升逆变器的响应速度和稳定性, 从而实现更高效的能量转换和更稳定的电网连接。该技术还可以提高逆变器的抗干扰能力和抗负载波动能力, 从而提高系统的可靠性和稳定性。

电压电流双闭环控制的控制策略公式为

$$\begin{cases} i_d^* = (k_{pv} + \frac{k_{iv}}{s})(v_d^* - v_d) - \omega C_f v_q + i_d \\ i_q^* = (k_{pv} + \frac{k_{iv}}{s})(v_q^* - v_q) - \omega C_f v_d + i_q \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} v_{sd}^* = k_{pc}(i_d^* - i_{Ld}) - \omega L_f i_{Lq} + v_d \\ v_{sq}^* = k_{pc}(i_q^* - i_{Lq}) + \omega L_f i_{Ld} + v_q \end{cases} \quad (8)$$

式中: k_{pv} 为电压环 PI 控制器的比例系数; k_{iv} 为电压环 PI 控制器的积分系数; k_{pc} 则是电流控制器的比例系数; v_s 则代表逆变器的输出电压; v 代表电容电压; C_f 代表滤波电容器; L_f 代表滤波电感; i_L 代表滤波电感电流。

1.3 VSG 整体控制模型

将上述技术整合, 即可获得完整的虚拟同步机 VSG 模型, 如图 3 所示。

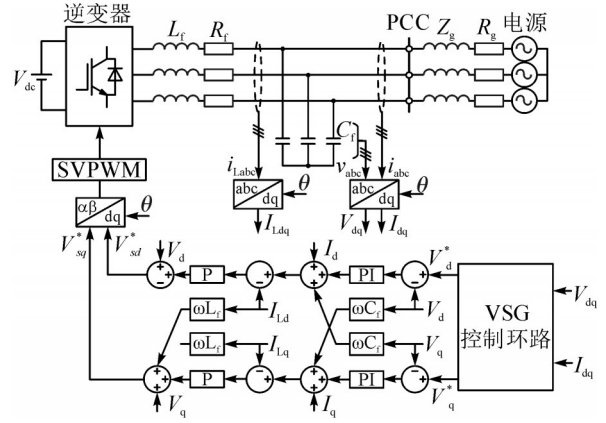


图3 VSG 整体控制模型

Fig. 3 Overall control model of the virtual synchronous generator (VSG)

2 光伏储能发电系统

光伏储能系统并网结构包含了光伏组件、储能单元、逆变器、智能控制器。其中, 光伏组件用于能量转换, 储能单元可达到平衡能量波动的效果, 直流与交流电能转换则由逆变器完成, 智能控制器实现光伏输出、储能状态、负载需求、电网状态检测, 以达到整体协调运行的目的。

图 4 为控制原理图。光伏逆变器采用特殊的双级结构。一级使用 Boost 回路, 精确追踪最大输出光能, 以实现光能的最大利用率。二级采用先进的电压源型虚拟同步机控制方法, 有效支持电网电压频率, 保障电网稳定运行。该方案既提高了逆变器的运行效率, 又提高了系统的自适应能力, 提高了系统的稳定性。鉴于 VSG 在电压调节过程中需额外能源补充的特性, 本文将在中间直流环节增设能量储存设备^[5]。通过这一设备, 旨在稳定直流母线电压, 实现前后级之间的解耦操作。由此, VSG 能够根据电源指令及自适应机制灵活输出, 无需通过调整电源来确保直流母线电压的稳定性。

3 仿真结果展示

为了验证光伏储能发电系统控制架构的可行性, 利用 Matlab 建立了该系统的仿真模型, 并给出了详细的主电路和控制器参数。研究内容包括: 利用光伏发电系统最大功率追踪算法、VSG 对电网有功、无功的闭环跟踪控制、利用蓄能设备进行一、二次电压调节的瞬时功率补偿。在 Matlab 软件中使用了太阳能电池和蓄电池两个模块来模拟实际的工作状态。在此基础上, 提出了一种新的控制策略, 即在保证电网稳定的前提下, 实现了对电网的有效控制^[6]。

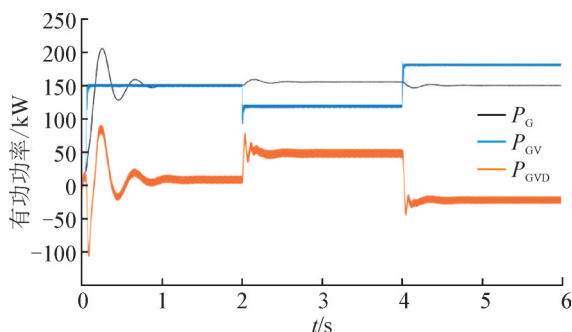


图6 VSG输出有功功率跟踪指令值仿真波形
Fig. 6 Simulation waveform of VSG output active power tracking the reference value

上图中蓝色为直流母线电压其严格的跟随设定值,在系统频率发生变化时,经过扰动又立刻回归设定值,可见该控制策略的优异性^[10]。

2~4 s时系统频率下降0.1 Hz。1~2 s时150 kW光伏阵列的输出也为150 kW。光照、VSG的功率指令都为额定情况。此时光伏板的输出功率和VSG的输出功率一致都为150 kW。储能输出的仅为系统的损耗。直流母线电压恒定。

2~4 s时光照没有变化,MPPT的输出功率也没有变化。系统的一次调频所需要的能量由蓄电池出,因此蓄电池的功率上升。

4~6 s时系统频率恢复,光照也没有变化。恢复之前的运行状态。

4 结语

本文围绕提升光储系统参与电网一次调频的能力,提出并验证了一种改进型VSG控制策略。研究通过构建完整的VSG模型与光储系统仿真平台,定量分析了其在频率扰动下的动态性能。结果证实,该策略能够有效协调光伏与储能单元,在电网频率突变时快速、精准地提供惯量支撑和有功功率调节,显著提升了系统的动态稳定性和抗干扰能力。本研究成果为解决高比例可再生能源接入带来的系统惯量缺失问题提供了可行的工程化解决方案,对构建具备同步机友好特性的新型电力系统具有重要的实践参考价值。

参考文献

- [1] 吕志鹏, 盛万兴, 钟庆昌, 等. 虚拟同步发电机及其在微电网中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(16): 2591-2603.
- LYU Zhipeng, SHENG Wanxing, ZHONG Qingchang, et al. Virtual synchronous generator and its application in microgrids[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(16): 2591-2603.
- [2] 钟庆昌. 虚拟同步机与自主电力系统[J]. 中国电机工程

学报, 2017, 37(2): 336-348.

ZHONG Qingchang. Virtual synchronous machines and autonomous power systems[J]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37(2): 336-348.

- [3] ZHONG Qingchang, WEISS G. Synchronverters: inverters that mimic synchronous generators[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2011, 58(4): 1259-1267.
- [4] 朱更辉, 陈国振, 韩耀飞. 基于虚拟同步发电机的光伏并网逆变器控制策略[J]. 沈阳工业大学学报, 2017, 39(4): 366-370.
- ZHU Genghui, CHEN Guozhen, HAN Yaofei. Control strategy of photovoltaic grid-connected inverter based on virtual synchronous generator[J]. Journal of Shenyang University of Technology, 2017, 39(4): 366-370.
- [5] ZHANG Shuzhi, ZHANG Xiongwen. A novel non-experiment-based reconstruction method for the relationship between open-circuit-voltage and state-of-charge/state-of-energy of Lithium-ion battery[J]. Electrochimica Acta, 2022, 403: 139637.
- [6] 王博, 杨德友, 蔡国伟. 高比例新能源接入下电力系统惯量相关问题研究综述[J]. 电网技术, 2020, 44(8): 2998-3006.
- WANG Bo, YANG Deyou, CAI Guowei. Review of research on power system inertia related issues in the context of high penetration of renewable power generation[J]. Power System Technology, 2020, 44(8): 2998-3006.
- [7] 卢宇昊. 基于虚拟同步发电机的微电网控制策略研究[D]. 无锡: 江南大学, 2023.
- [8] WANG Weiyu, JIANG Lin, CAO Yijia, et al. A parameter alternating VSG controller of VSC-MTDC systems for low frequency oscillation damping[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2020, 35(6): 4609-4621.
- [9] ZHI Na, DING Ke, DU Liang, et al. An SOC-based virtual DC machine control for distributed storage systems in DC microgrids[J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2020, 35(3): 1411-1420.
- [10] 李建林, 谭宇良, 王含, 等. 配网及光储微网储能系统配置优化策略[J]. 高电压技术, 2022, 48(5): 1893-1902.
- LI Jianlin, TAN Yuliang, WANG Han, et al. Research on configuration optimization of energy storage system in distribution network and optical storage microgrid[J]. High Voltage Engineering, 2022, 48(5): 1893-1902.
- [11] 郑建明. 电力储能用磷酸锰铁锂离子电池的性能[J]. 电池, 2025, 55(1): 92-98.
- ZHENG Jianming. Performance of LiMnxFe1-xPO4 Li-ion battery for grid energy storage[J]. Dianchi (Battery Bimonthly), 2025, 55(1): 92-98.
- [12] 李伟, 叶昶, 李乐颖, 等. 沙戈荒风光储场站开关柜局部放电高频感知技术[J]. 高压电器, 2025, 61(3): 52-62.

- LI Wei, YE Chang, LI Leying, et al. High-frequency sensing technology of partial discharge of switchgear cabinet for wind solar & energy storage stations in gobi deserts[J]. High Voltage Apparatus, 2025, 61(3): 52-62.
- [13] 黄定威, 王锋, 李波. 面向新型电力系统的含风光储配电网多目标调度方法[J]. 电测与仪表, 2025, 62(3): 38-45.
- HUANG Dingwei, WANG Feng, LI Bo. A multi-objective scheduling method for wind and solar energy storage and distribution network facing novel power system[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2025, 62(3): 38-45.
- [14] 赵江泽, 赵洪峰, 程宽, 等. 不同类型冲击电流对ZnO压敏电阻老化的影响研究[J]. 高压电器, 2024, 60(2): 127-132.
- ZHAO Jiangze, ZHAO Hongfeng, CHENG Kuan, et al. Research on influence of different types of impulse current on the aging of ZnO varistor[J]. High Voltage Apparatus, 2024, 60(2): 127-132.
- [15] 常春, 王瑛琦, 姜久春, 等. 基于主动方波激励检测锂离子电池早期内短路[J]. 电池, 2024, 54(1): 24-28.
- CHANG Chun, WANG Yingqi, JIANG Jiuchun, et al. Detection of early internal short circuit of Li-ion battery based on active square wave excitation[J]. Dianchi (Battery Bimonthly), 2024, 54(1): 24-28.
- [16] 杨葆鑫, 邢文奇, 刘鹏飞, 等. 基于直流电压前馈的构网型光伏稳定性优化控制策略[J]. 高压电器, 2024, 60(12): 213-222.
- YANG Baoxin, XING Wenqi, LIU Pengfei, et al. Optimal control strategy of stability for grid-forming photovoltaic based on DC voltage feedforward[J]. High Voltage Apparatus, 2024, 60(12): 213-222.
- [17] 罗继东, 邹梦丽, 侯宝华, 等. 考虑V2G及碳排放量的风光储综合能源系统协调优化运行[J]. 电测与仪表, 2024, 61(6): 20-25.
- LUO Jidong, ZOU Mengli, HOU Baohua, et al. Coordinated and optimal operation of wind-solar-battery integrated energy system considering V2G and carbon emission[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2024, 61(6): 20-25.
- [18] 王晓晨. 锂离子电池辅助材料现状及发展建议[J]. 电池, 2025, (1): 136-140.
- WANG Xiaochen. Status and development proposal of auxiliary materials for Li-ion battery[J]. Dianchi (Battery Bimonthly), 2025, 55(1): 138-140.
- [19] 杜威, 刘涤尘, 廖清芬, 等. 考虑频率安全约束的虚拟同步机参数优化方法[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(12): 112-120.
- DU Wei, LIU Dichen, LIAO Qingfen, et al. Parameter optimization method of virtual synchronous machine considering frequency security constraints[J]. Automation of Electric Power Systems, 2019, 43(12): 112-120.
- [20] 张兴, 曹仁贤. 太阳能光伏并网发电及其逆变控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [21] LIU Jia, MIURA Y, ISE T. Comparison of dynamic characteristics between virtual synchronous generator and droop control in inverter-based distributed generators[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2016, 31(5): 3600-3611.
- [22] 赵晋泉, 吴迪, 林昌年, 等. 高比例可再生能源电力系统转动惯量评估方法综述[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(10): 1-12.
- ZHAO Jinquan, WU Di, LIN Changnian, et al. A review on evaluation methods of rotational inertia in power systems with high renewable energy penetration[J]. Power System Protection and Control, 2021, 49(10): 1-12.
- [23] CHEN Y, MA X, ZHONG Qc. Self-tuning virtual synchronous generator for microgrids with varying grid strength[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2022, 13(4): 2875-2886.
- [24] 王成山, 李琰, 彭克. 分布式电源并网逆变器的虚拟同步机控制策略[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(23): 1-6.
- WANG Chengshan, LI Yan, PENG Ke. Virtual synchronous machine control strategy for grid-connected inverters of distributed generation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(23): 1-6.
- [25] BECK H P, HAUER R. Virtual synchronous machines—Classification of implementations and analysis of equivalence to droop controllers for microgrids[C]//2013 IEEE Grenoble Conference. Grenoble: IEEE, 2013: 1-7.
- [26] 刘巨, 姚伟, 文劲宇, 等. 基于虚拟同步机的风电场参与系统调频控制策略[J]. 中国电机工程学报, 2017, 37(2): 464-473.
- LIU Jun, YAO Wei, WEN Jinyu, et al. Frequency regulation control strategy of wind farm based on virtual synchronous generator[J]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37(2): 464-473.
- [27] ARANI M F M, MOHAMMADI-IRNAHABI E, GHAREHPETIAN G B. Review of primary frequency control strategies for inverter-based resources[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2023, 171: 114078.
- [28] 孙华东, 王宝财, 李志伟, 等. 高比例新能源接入下电力系统惯量水平评估与提升措施[J]. 电网技术, 2020, 44(1): 37-45.
- SUN Huadong, WANG Baocai, LI Zhiwei, et al. Evaluation and enhancement measures of system inertia level under high penetration of renewable energy[J]. Power System Technology, 2020, 44(1): 37-45.
- [29] GUERRERO J M, VASQUEZ J C, MATAS J, et al. Hierarchical control of droop-controlled AC and DC microgrids—a general approach toward standardization[J]. IEEE Trans-

actions on Industrial Electronics, 2011, 58(1): 158-172.

[30]黄伟,熊显斐,陈洁,等. 基于SOC自适应调节的光储联合系统VSG控制策略[J]. 电力系统保护与控制, 2022, 50(15): 88-96.

HUANG Wei, XIONG Xianfei, CHEN Jie, et al. VSG control strategy for PV-storage hybrid system based on SOC adaptive regulation[J]. Power System Protection and Control, 2022, 50(15): 88-96.

[31]ZHOU J, YAN X, ZHANG P, et al. Coordinated control of multiple VSGs for improved frequency stability in islanded microgrids[J]. IEEE Access, 2021, 9: 102345-102356.

[32]肖湘宁,罗超,廖坤玉. 新能源电力系统次同步振荡问题研究综述[J]. 电工技术学报, 2017, 32(6): 85-97.

XIAO Xiangning, LUO Chao, LIAO Kunyu. Review of the research on subsynchronous oscillation issues in electric power system with renewable energy sources[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2017, 32(6): 85-97.

[33]DARCO S. SUUL J A. Virtual synchronous machines-a unified interface for grid integration of renewable energy and storage[J]. IEEE Industrial Electronics Magazine, 2015, 9(4): 6-17.

作者简介:
冯浩(1979—),男,高级工程师,主要研究方向为火电厂热工自动控制。E-mail:523614537@qq.com。

《电力电容器与无功补偿》2026 年 2 期广告单位

1 西安电力电容器研究所	封面	9 温州市凯泰特种电器有限公司	前插 5
2 西安西电电力电容器有限责任公司	封二	10 杭州精诚电力设备有限公司	前插 6
3 上海思源电力电容器有限公司	封三	11 陕西凯瑞宏星电器有限公司	前插 7
4 山东哈大电气有限公司	封底	12 西安高压电器研究院股份有限公司	前插 8
5 东莞市东和电子制程有限公司	前插 1	13 公益广告	前插 9
6 山东海源泰和电气有限公司	前插 2	14 深圳市三和电力科技有限公司	前插 10
7 西安金叶电力科技有限公司	前插 3	15 天津威斯康电能补偿系统公司	前插 11
8 新程(辽宁)电力电容器科技有限公司	前插 4	16 无锡赛晶电力电容器有限公司	前插 12