

电网技术

POWER SYSTEM TECHNOLOGY

1

2023

第47卷1期

Vol.47 No.1

中電賽普

求实 公正 科学 进取



自愿性产品认证



碳中和认证



服务认证



国推认证



人员认证

风电机组产品认证

提高产品运营与生产质效，强化企业投标竞争力
通过第三方技术质量背书，降低采信方质控风险
促进风电产品技术更新，推动风电行业高质量发展

依据标准

IEC RE OD 501, Ed.2, Type and Component Certification Scheme

GB/T 35792-2018《风力发电机组合格测试及认证》

CEPRI-B-202-04/2020《风力发电机组型式认证实施规则》



国家电网
STATE GRID

中电赛普检验认证(北京)有限公司

CHINA POWER CEPRI INSPECTION AND CERTIFICATION (BEIJING) CO., LTD

中电赛普检验认证(北京)有限公司

地址：北京市海淀区小营东路15号 邮编：100192 电话：010-82812398

广告

ISSN 1000-3673



国家电网有限公司 主办

编辑委员会

主 任：周孝信

委 员（按姓氏笔画排序）：

丁 明 卫志农 王成山 王伟胜
王益民 王海风 韦 化 文劲宇
文福拴 艾 芊 毕天姝 吕运强
刘 健 刘广一 刘开培 刘玉田
刘明波 刘建明 汤 涌 孙华东
孙宏斌 严 正 李卫东 李亚楼
李成榕 杨胜春 肖先勇 别朝红
何正友 张东霞 张乔根 周 浩
周泽昕 段献忠 姚良忠 袁小明
徐 政 郭剑波 梅生伟 曹一家
曹均正 盛万兴 康重庆 董新洲
程浩忠 谢小荣 路书军 廖瑞金
穆 钢 鞠 平

青年委员（按姓氏笔画排序）：

丁 一 王蓓蓓 冯双磊 吕 泉
刘友波 刘敦楠 齐 波 汤 奕
孙国强 李 勇 李 斌 李卫星
李生虎 李建林 吴学智 张 宁
张 波 张志劲 陆 超 易 俊
胡 伟 胡泽春 郭庆来 涂春鸣
崔 杨 焦在滨 裴 玮 魏晓光

顾问委员会

主 任：郑健超

委 员（按姓氏笔画排序）：

马伟明 王锡凡 卢 强 朱英浩
刘吉臻 汤广福 杨奇逊 严陆光
吴复立 邱爱慈 余贻鑫 汪飏生
沈国荣 宋永华 陆佑楣 陈清泉
陈维江 罗 安 郑宝森 顾国彪
唐任远 黄其励 韩祯祥 程时杰
舒印彪 薛禹胜

目 次

· 新能源发电与运行控制新技术

（特约专题主编 王伟胜、文劲宇、谢开贵、黄越辉）·

面向新型电力系统的电力电子变流器虚拟同步控制方法评述

.....刘钊汛, 秦亮, 杨诗琦, 周悻源, 王庆, 郑景文, 刘开培 (1)

提升组网型变流器并网交互稳定性的控制参数整定方法

.....刘永慧, 王跃, 彭阳, 郝凯杰, 李润田, 刘航 (16)

基于暂态电磁功率补偿的 VSG 并联系统有功振荡抑制策略

.....兰征, 刘祖潭, 何东, 曾进辉, 余雪萍, 龙阳 (23)

大规模新能源基地经特高压直流送出系统中长期运行方式优化方法

.....李湃, 王伟胜, 黄越辉, 韩培东, 张金平 (31)

考虑风电主动参与频率控制的电力系统运行可靠性评估

.....谢开贵, 赵宇生, 胡博, 邵常政, 林毓嵘, 孙锐彬 (41)

含高渗透新能源电力系统中考虑变时段控制的火/储/荷日前优化调度

.....李军徽, 周家旭, 朱星旭, 李翠萍, 严干贵, 刘芮彤, 段方维 (51)

基于条件生成对抗网络的多区域风电短期出力场景生成方法

.....黄越辉, 孙亚南, 李驰, 李湃, 宋子源 (63)

基于“双碳”目标的光热电站调峰能力规划研究

.....孙晓强, 杨楠, 李庆海, 李富春, 杨攀峰, 汪莹, 傅旭 (73)

三相四桥臂逆变器高频振荡机理分析及基于电流反馈的阻抗重塑方法

.....廖玉茗, 年珩, 李萌, 孙丹, 胡彬, 刘一鸣 (83)

不对称故障下两级式光伏并网系统低电压穿越控制

.....王诗雯, 刘飞, 刘沁怡, 庄一展, 黄艳辉, 查晓明 (91)

基于相位跳变补偿的虚拟同步发电机低电压穿越控制策略研究

.....郑涛, 王子鸣, 邹芑莹 (100)

风电场群无功不均衡/无功环流抑制研究

.....郭嘉庆, 乔颖, 鲁宗相, 徐曼, 李佳明 (109)

· 面向新型电力系统的电力市场设计和运营关键技术 ·

基于非凸报价的高比例新能源现货市场机制

.....孟繁林, 钟海旺, 夏清 (120)

基于标准能量块合约的电力中长期市场连续运营方案设计

.....刘敦楠, 李竹, 董治新, 陈刚, 李宏杰, 纪鹏 (129)

电力市场、碳市场及绿证市场互动机理及协调机制

.....尚楠, 陈政, 卢治霖, 冷媛 (142)

面向新型电力系统灵活性提升的调峰容量补偿机制设计

.....刘学, 刘硕, 于松泰, 孙田, 郭鸿业 (155)

基于双层演化博弈模型的多区域点对点能源共享机制

.....何鑫雨, 董萍, 刘明波, 黄善超, 李家兴 (163)

南方(以广东起步)电力现货市场“月结算”试运行关键监测指标及市场力分析.....和识之, 何翔路, 姜素华, 李智勇, 陈梓煜, 顾慧杰, 林庆标 (175)

电力市场全景实验平台三层实验体系及其运行模式

.....杨争林, 冯凯, 冯树海, 于松泰, 郑亚先, 王高琴 (185)

考虑虚拟电厂灵活调节特性的现货市场出清模型及灵活性溢价评估方法

.....高洪超, 陈启鑫, 金泰, 康重庆, 陈宋宋 (194)

基于一致性算法的多微电网点对点分布式能量交易策略

.....赵鹏杰, 吴俊勇, 林凯骏, 王燚, 张和生 (205)

· 面向双碳目标的综合能源系统关键技术 ·

- 考虑阶梯型碳交易机制的区域电-热综合能源系统分布协同调度方法
..... 林卓然, 王守相, 王绍敏, 赵倩宇 (217)
- 基于数字孪生与动态能效模型的综合能源系统实时优化调度策略
..... 卢锦玲, 颜禄涵, 腊志源, 刘晓鹏, 任惠 (226)
- 气网管存与电转气协调运行提升电-气互联系统灵活性的调度策略
..... 杨修宇, 孙健舒, 刘玉娇, 张明洋, 刘家育 (236)
- 考虑广义储能的微电网主动能量管理优化算法研究
..... 刘俊峰, 罗燕, 侯媛媛, 曾君 (245)
- 基于电动汽车充电需求时空分布特性的充电站规划研究
..... 张美霞, 徐立成, 杨秀, 吴子敬, 张倩倩 (256)
- 基于高阶马尔可夫链和高斯混合模型的光伏出力短期概率预测
..... 刘洁, 林舜江, 梁炜焜, 王琮, 刘明波 (266)
- 基于异质聚类与 Stacking 的双集成光伏发电功率预测
..... 武新章, 王泽宇, 代伟, 赵子巍, 郭苏杭, 张冬冬 (275)

· 直流输电与直流电网 ·

- 基于固态变压器的互联交直流微电网功率互济自主控制
..... 朱介北, 李峰, 俞露杰, 李霞林, 王成山 (284)
- 利用行波波形改进编辑距离的柔性直流输电线路后备保护方案
..... 童晓阳, 权文杰, 李智, 席俊辉, 董星星 (294)
- 考虑换相电压多次谐波分量的换相失败抑制策略
..... 钟文梁, 刘健, 林圣 (301)
- 抑制网侧交流单相接地故障下混合型 MMC 子模块过电压的谐波耦合注入策略
..... 王鋈鑫, 汪晋安, 邓伟成, 许建中, 董烨 (313)
- 模块化多电平变流器电容电压均衡策略研究进展
..... 周悻源, 秦亮, 杨诗琦, 余雪, 蒲清昕, 刘钊汛, 刘开培 (322)

· 电力系统 ·

- 考虑新能源消纳能力的电力系统灵活性评估方法
..... 杨策, 孙伟卿, 韩冬 (338)
- 基于 Petri 网的配电网信息物理系统可靠性评估
..... 李宏仲, 郭相辰 (347)
- 考虑计划冲突的电网停电计划排期方法
..... 唐伟宁, 张俊勃 (360)
- 基于双通道 GAF 和深度残差网络的电能质量复合扰动识别
..... 贺才郡, 李开成, 杨王旺, 董宇飞, 宋朝霞, 范伟欣, 王伟 (369)
- 一种交错并联分裂开关电容升压变换器
..... 钱天泓, 秦岭, 茅靖峰, 许兴, 周磊, 段冰莹, 刘宇涵 (377)
- 抑制混合级联 H 桥逆变器电流倒灌的调制策略
..... 李善寿, 黄雪婷, 叶伟, 颜普, 肖融 (387)

· 高电压技术 ·

- 湿热环境下脂环族环氧树脂绝缘子和硅橡胶复合绝缘子芯棒-护套界面老化特性研究
..... 孟祥龙, 尚瑞琦, 樊浩楠, 等 (396)
- 多回击地闪特征参数及其对直流线路故障的影响研究
..... 胡杨, 赵淳, 雷梦飞, 卢泽军, 王宇, 龚慧 (404)
- 环型空心电抗器瞬态电压分布特性的分析
..... 韩释瑶, 崔翔, 侯彦明, 齐磊, 张升 (413)

· 广告索引 · (422)

《工程索引》(EI) 收录核心期刊
2015 和 2017 年度中国“百强报刊”
中国最具国际影响力学术期刊
中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
全国中文核心期刊
RCCSE 中国权威学术期刊
《科学文摘》(SA) 收录期刊
《文摘杂志》(AJ) 收录期刊
中国科学引文数据库 (CSCD)
中国期刊方阵双效期刊
电力行业优秀科技期刊

《电网技术》(月刊)

第 47 卷 第 1 期 (总第 470 期)

主 管: 国家电网有限公司

主 办: 国家电网有限公司

编 辑: 中国电科院期刊中心

《电网技术》编辑部

出 版: 《电网技术》杂志社有限公司

主 编: 郭剑波

副主编: 汤 涌、康重庆、孙华东

编辑部主任: 李兰欣 010-82812543

广告发行: 韩 迪 010-82812465

闫 颀 010-82812430

编 辑: 010-82812523/2672/2981/2982

网上投稿: <http://www.dwjs.com.cn>

电力系统内部电话: 91862+后四位

传 真: 010-82812980

地 址: 100192 北京清河小营东路 15 号

中国电力科学研究院有限公司内

印 刷: 北京科信印刷有限公司

北京市昌平区北清路马连店甲 6 号

总发行: 北京报刊发行局

国外发行: 中国国际图书贸易总公司

订 阅: 全国各地邮局

国内定价: 每期 80 元, 全年 960 元

邮发代号: 国内 82-604 国外 1474M

中国标准连续出版物号: ISSN 1000-3673
CN 11-2410/TM

广告发布登记号: 京海市监广登字 20170131 号

POWER SYSTEM TECHNOLOGY

2023, Vol. 47 No. 1 (Ser. 470)

Contents

• New Technologies in Generation, Operation and Control of Renewable Energy •

Review on Virtual Synchronous Generator Control Technology of Power Electronic Converter in Power System Based on New Energy	LIU Zhaoxun, QIN Liang, YANG Shiqi, ZHOU Yiyuan, WANG Qing, ZHENG Jingwen, LIU Kaipei (1)
Parameter Tuning for Improving Interaction Stability of Grid-forming Converter and Power Grid	LIU Yonghui, WANG Yue, PENG Yang, GAO Kaijie, LI Runtian, LIU Hang (16)
Active Oscillation Suppression Strategy of Paralleled Virtual Synchronous Generators Based on Transient Electromagnetic Power Compensation	LAN Zheng, LIU Zutan, HE Dong, ZENG Jinhui, YU Xueping, LONG Yang (23)
Method on Optimization of Medium and Long Term Operation Modes of Large-scale Renewable Energy Power Base Through UHVDC System	LI Pai, WANG Weisheng, HUANG Yuehui, HAN Peidong, ZHANG Jinping (31)
Operational Reliability Assessment of Power System Considering Active Participation of Wind Power in Frequency Control	XIE Kaigui, ZHAO Yusheng, HU Bo, SHAO Changzheng, LIN Chengrong, SUN Kaibin (41)
Day-ahead Optimal Dispatch of Thermal/Storage/Load Systems Considering Variable Time Period Control in Power System With High Penetration of New Energy	LI Junhui, ZHOU Jiaxu, ZHU Xingxu, LI Cuiping, YAN Gangui, LIU Ruitong, DUAN Fangwei (51)
Constructing Method of Short-term Output Scenarios for Multi-regional Wind Power Based on Conditional Generative Adversarial Network	HUANG Yuehui, SUN Yanan, LI Chi, LI Pai, SONG Ziyuan (63)
Peak Shaving Capacity Planning of Solar Thermal Power Stations Based on “Emission Peak and Carbon Neutrality” Target	SUN Xiaoqiang, YANG Nan, LI Qinghai, LI Fuchun, YANG Panfeng, WANG Ying, FU Xu (73)
High Frequency Resonance Mechanism and Impedance Reshaping Based on Current Feedback of Three-phased Four-legged Inverter	LIAO Yuming, NIAN Heng, LI Meng, SUN Dan, HU Bin, LIU Yiming (83)
Low-voltage Riding-through Control Strategy for Two-staged Grid-connected Photovoltaic System Under Asymmetrical Faults	WANG Shiwen, LIU Fei, LIU Qinyi, ZHUANG Yizhan, HUANG Yanhui, ZHA Xiaoming (91)
Research on Low Voltage Ride-through Control Strategy of Virtual Synchronous Generator Based on Phase Jump Compensation	ZHENG Tao, WANG Ziming, ZOU Pengying (100)
Reactive Power Unbalance/Circulation Suppression for Wind Farm Group	GUO Jiaqing, QIAO Ying, LU Zongxiang, XU Man, LI Jiaming (109)

• The Key Technologies of Electricity Markets Design and Operation for New Power System •

Non-convex Bidding-based Spot Market Mechanism of High Penetration Renewable Energy	MENG Fanlin, ZHONG Haiwang, XIA Qing (120)
Design of Continuous Operation Scheme of Electric Power Medium- and Long-term Market Based on Standard Energy Block Contracts	LIU Dunnan, LI Zhu, DONG Zhixin, CHEN Gang, LI Hongjie, JI Peng (129)
Interaction Principle and Cohesive Mechanism Between Electricity Market, Carbon Market and Green Power Certificate Market	SHANG Nan, CHEN Zheng, LU Zhilin, LENG Yuan (142)
Peak Load Regulation Capacity Compensation Mechanism for New Power System Flexibility Enhancement	LIU Xue, LIU Shuo, YU Songtai, SUN Tian, GUO Hongye (155)
Multi-region P2P Energy Sharing Mechanism Based on Two-stage Evolutionary Game Model	HE Xinyu, DONG Ping, LIU Mingbo, HUANG Shanchao, LI Jiaying (163)
Key Monitoring Indicators and Market Power Analysis in “Monthly Settlement” Trial Operation of Southern China Electricity Spot Market (Starting With Guangdong Province)	HE Shizhi, HE Xianglu, LOU Suhua, LI Zhiyong, CHEN Ziyu, GU Huijie, LIN Qingbiao (175)
Tri-layer System and Its Operation Mode on Power Market Panoramic Experimental Platform	YANG Zhenglin, FENG Kai, FENG Shuhai, YU Songtai, ZHENG Yaxian, WANG Gaoqin (185)
Spot Market Clearing Model and Flexible Premium Evaluation Method Considering Flexible Regulation of Virtual Power Plant	GAO Hongchao, CHEN Qixin, JIN Tai, KANG Chongqing, CHEN Songsong (194)
Peer to Peer Distributed Transactive Energy Strategy for Multi-microgrid Based on Consistency Algorithm	ZHAO Pengjie, WU Junyong, LIN Kaijun, WANG Yi, ZHANG Hesheng (205)

• Key Technologies of Integrated Energy Systems Towards Carbon Peaking and Carbon Neutrality Goals •

Distributed Coordinated Dispatching of District Electric-thermal Integrated Energy System Considering Ladder-type Carbon Trading Mechanism	LIN Zhuoran, WANG Shouxiang, WANG Shaomin, ZHAO Qianyu (217)
Real-time Optimal Scheduling Strategy for Integrated Energy System Based on Digital Twins and Dynamic Energy Efficiency Model	LU Jinling, YAN Luhan, LA Zhiyuan, LIU Xiaopeng, REN Hui (226)

Scheduling Strategy of Coordinated Operation of Gas Network Linepack and P2G for Flexibility Improvement of Integrated Electricity-gas System	YANG Xiuyu, SUN Jianshu, LIU Yujiao, ZHANG Mingyang, LIU Jiayu (236)
Research on Optimization Algorithm of Active Microgrid Energy Management Considering Generalized Energy Storage	LIU Junfeng, LUO Yan, HOU Yuanyuan, ZENG Jun (245)
Planning of Charging Stations Based on Spatial and Temporal Distribution Characteristics of Electric Vehicle Charging Demand	ZHANG Meixia, XU Licheng, YANG Xiu, WU Zijing, ZHANG Qianqian (256)
Short-term Probabilistic Forecast for Power Output of Photovoltaic Station Based on High Order Markov Chain and Gaussian Mixture Model	LIU Jie, LIN Shunjiang, LIANG Weikun, WANG Qiong, LIU Mingbo (266)
Bi-ensembled Photovoltaic (PV) Power Prediction Based on Heterogeneous Clustering and Stacking	WU Xinzhang, WANG Zeyu, DAI Wei, ZHAO Ziwei, GUO Suhang, ZHANG Dongdong (275)

• HVDC Transmission & HVDC Grid •

Autonomous Power Mutual Support Control for AC/DC Microgrid Interconnected by Solid State Transformer	ZHU Jiebei, LI Feng, YU Lujie, LI Xialin, WANG Chengshan (284)
Backup Protection Scheme for Flexible DC Transmission Line by Traveling Wave Waveform Similarity Based on Improved Editing Distance	TONG Xiaoyang, QUAN Wenjie, LI Zhi, XI Junye, DONG Xingxing (294)
A Commutation Failure Suppression Strategy Considering Multiple Harmonic Components of Commutation Voltage	ZHONG Wenliang, LIU Jian, LIN Sheng (301)
Harmonic Coupling Injection Strategy for Suppressing Overvoltage of Hybrid MMC Sub-module Under Grid-side SLG Fault	WANG Junxin, WANG Jinan, DENG Weicheng, XU Jianzhong, DONG Ye (313)
Research Progress of Capacitor Voltage Balancing Strategies for Modular Multilevel Converters	ZHOU Yiyuan, QIN Liang, YANG Shiqi, YU Xue, PU Qingxin, LIU Zhaoxun, LIU Kaipei (322)

• Power System •

Power System Flexibility Evaluation Considering Renewable Energy Accommodation	YANG Ce, SUN Weiqing, HAN Dong (338)
Reliability Evaluation of Cyber-physical System of Distribution Network Based on Petri Net	LI Hongzhong, GUO Xiangchen (347)
Conflict-considered Outage Scheduling of Power Grid	TANG Weining, ZHANG Junbo (360)
Power Quality Compound Disturbance Identification Based on Dual Channel GAF and Depth Residual Network	HE Caijun, LI Kaicheng, YANG Wangwang, DONG Yufei, SONG Zhaoxia, FAN Weixin, WANG Wei (369)
Interleaved Split-switched Capacitor Boost Converter	QIAN Tianhong, QIN Ling, MAO Jingfeng, XU Xing, ZHOU Lei, DUAN Bingying, LIU Yuhan (377)
Modulation Strategy for Suppressing Current Inrush of Hybrid Cascaded H-bridge Inverter	LI Shanshou, HUANG Xueting, YE Wei, YAN Pu, XIAO Rong (387)

• High Voltages •

Aging Characteristics of Core Rod-sheath Interface of Alicyclic Epoxy Insulator and Silicone Rubber Composite Insulator Under Humid and Hot Environment	MENG Xianglong, SHANG Ruiqi, FAN Haonan, et al (396)
Characteristic Parameters of Cloud to Ground Lightning With Multiple Return Strokes and Their Influence on DC Transmission Line Fault	HU Yang, ZHAO Chun, LEI Mengfei, LU Zejun, WANG Yu, GONG Hui (404)
Distribution Characteristics of Transient Voltage for Toroidal Air-core Reactors	HAN Shiyao, CUI Xiang, HOU Yanming, QI Lei, ZHANG Sheng (413)

Sponsor: State Grid Corporation of China

In Cooperation with: China Electric Power Research Institute (CEPRI)

Chairman of Editorial Committee: Zhou Xiaoxin

Editor-in-Chief: Guo Jianbo

Editor and Publisher: Power System Technology Press

Director of Editorial Board: Li Lanxin

Publication Number: ISSN 1000-3673

CODEN: DIJIES

Devey#: 621.31

Address: China Electric Power Research Institute, Qinghe, Beijing 100192, China

Tel/Fax: 86-10-82812980

E-mail: pst@epri.sgcc.com.cn <http://www.dwjs.com.cn>

Agent of Subscriptions Abroad: China International Book Trading Corporation (GUOJISHUDIAN) P.O.Box 399, Beijing, China