

电网技术

POWER SYSTEM TECHNOLOGY

5

2021

第45卷5期

Vol.45 No.5



中外合资
国网标准

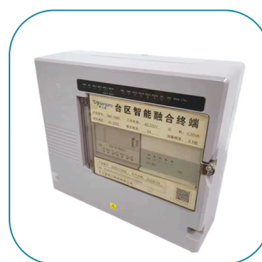


微官网

智能配电网自动化解决方案供应商

诚邀商务代表及合作伙伴

专业智造：配电终端 | DTU | FTU | TTU | 环网柜 | 充气柜 | 固体柜 | 环保柜 | 开闭所
电容取电型柱上断路器 | 深度融合柱上断路器 | 一、二次融合成套柱上开关 (A+A)
一、二次融合成套环网箱 (A+A)



天力普电力科技有限公司

TENPRO ELEC-POWER SCI-TECH LLC

地址：浙江省乐清经济开发区经七路151号 电话：0577-62660666 62728188
手机：13905870258 13282799999 官网：www.tenprogroup.com

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 强
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

· 电网友好型风电控制技术 ·

（特约专栏主编 秦世耀、江秀臣、孙海顺、马静、丁磊）

弱电网下双馈风机并网系统的次同步振荡研究

..... 朱廷猛, 孙海顺, 秦世耀, 韩应生, 黄碧月, 毛俞杰, 王东泽 (1641)

基于动态特性对称补偿的并网变流器稳定控制方法

..... 张思缘, 李梦, 李少林, 张学广, 徐殿国 (1648)

基于频率响应区间划分的风电机组虚拟惯量模糊自适应控制

..... 李少林, 王伟胜, 张兴, 李春彦 (1658)

考虑风电机组功率跌落和机械载荷优化的虚拟惯量控制方法

..... 秦世耀, 代林旺, 王瑞明, 毕然, 徐婷, 赵剑锋 (1665)

适应宽频振荡的风电并网系统主动阻尼技术综述

..... 马静, 沈雅琦, 杜延菱, 刘辉, 王靖然 (1673)

弱电网下永磁风机网侧变流器频率耦合效应关键作用因子评估及控制对策

..... 徐海亮, 聂飞, 王诗楠 (1687)

提高直驱风电经柔直并网系统稳定性的改进 V/F 控制策略

..... 荣梦飞, 吴红斌, 吴通华, 侯小凡, 张骏, 俞斌 (1698)

双馈风机故障穿越期间转速波动特性分析及其抑制方法

..... 王志浩, 史文轩, 丁磊, 孙勇, 应有 (1707)

基于显式模型预测控制和改进虚拟阻抗的双馈风机低电压穿越策略

..... 罗嘉, 赵浩然, 高木宁, 王鹏, 孙开宁 (1716)

基于电压源型和电流源型双馈风电机组稳定性对比分析

..... 谢震, 许可宝, 秦世耀, 张兴, 李少林 (1724)

· 国家重点研发计划 ·

面向智能全景电网的虚拟负荷概念及其应用

..... 张晓华, 杨红英, 刘道伟, 李柏青, 冯长有, 严剑峰, 曾沅 (1734)

基于深度卷积生成对抗网络场景生成的间歇式分布式电源优化配置

..... 顾洁, 刘书琪, 胡玉, 孟璐 (1742)

风-光-水多能互补发电系统功率云耦合模型分析

..... 么艳香, 叶林, 屈晓旭, 王伟胜, 范越 (1750)

基于合约负荷曲线的多能互补电力系统容量优化配置

..... 邵志芳, 张东强 (1757)

基于信息熵的历史数据选取对超短期风电功率预测精度影响研究

..... 郭超, 朱桂萍, 钱敏慧 (1767)

中压直流换流站最优电流控制算法研究

..... 金阳忻, 高一波 (1773)

适用于柔直系统高频谐振分析的输电线路模型

..... 满九方, 谢小荣, 唐健, 王艳辉, 罗永志 (1782)

采用阻容电流转移支路的直流电网故障清除及重合闸方案

..... 蒋纯冰, 俞永杰, 赵成勇 (1790)

· 高比例可再生能源并网 ·

基于数据增强的分布式光伏电站群短期功率预测(一): 方法框架与数据增强

..... 乔颖, 孙荣富, 丁然, 黎上强, 鲁宗相 (1799)

光伏发电系统抑制电力系统功率振荡的机理

..... 柴华, 张学军, 李明贤, 唐震, 郝捷, 郑惠萍 (1809)

基于多场景改进 Krawczyk 区间潮流算法的分布式新能源多目标优化配置

..... 邵振国, 黄新东, 张嫣, 陈飞雄 (1818)

考虑源-荷多时间尺度协调优化的大规模风电接入多源电力系统调度策略

..... 崔杨, 张家瑞, 仲悟之, 王铮, 赵钰婷 (1828)

基于自适应容积卡尔曼滤波的双馈风力发电机动态状态估计

..... 王彤, 高明阳, 黄世楼, 王增平 (1837)

考虑最优转速与桨距角控制的风电场限功率优化控制策略

..... 张三洪, 党杰, 戴剑丰, 俞智鹏, 汤奕 (1844)

水轮机调速系统源网协调问题研究

..... 肖洋, 刘伟, 王官宏, 夏潮, 李志强, 于大海, 马晨原 (1852)

含大容量分布式电源接入的配电网电流保护优化方案

..... 袁智勇, 徐全, 徐刚, 雷金勇, 余锐, 林跃欢 (1862)

一种计及储能容量和 SOC 约束的模糊自适应 VSG 控制策略

..... 杨帆, 邵银龙, 李东东, 林顺富, 赵耀 (1869)

· 能源互联网 ·

考虑碳捕集电厂综合灵活运行方式的低碳经济调度

..... 崔杨, 曾鹏, 惠鑫欣, 李鸿博, 赵君田 (1877)

基于机会约束及 $N-1$ 安全约束的风光联合储能系统选址定容优化

..... 孟源, 樊小朝, 史瑞静, 王维庆 (1886)

限制充放电切换次数的电动汽车与光伏发电协同调度研究

..... 吕广强, 魏鑫杰, 郭震 (1894)

基于模型预测控制的高压配电网负荷转供与储能电站协同运行

..... 曾宇, 刘友波, 高红均, 张曦, 赵亮, 刘畅, 魏巍, 刘俊勇 (1902)

基于线路阻抗补偿的直流微源并联均流控制策略

..... 张勤进, 庄绪州, 刘彦呈, 郭昊昊, 王川 (1912)

基于虚拟惯性控制的多光伏单元协同运行研究

..... 孟建辉, 赵彭辉, 王毅, 张赞 (1921)

· 电力市场 ·

计及综合能源服务商调节域的综合需求响应市场机制

..... 刘起兴, 胡亚平, 许丹莉, 杨林, 孙宇 (1932)

计及综合效率评价的火-风-储-高载能企业虚拟电厂成员选择模型

..... 王睿卓, 刘怀东, 崔丽瑶, 赵彦淇, 刘豪 (1942)

· 电力系统 ·

城市电网中地铁杂散电流分布规律及影响因素分析

..... 史云涛, 赵丽平, 林圣, 任永浩, 王爱民, 伍国兴 (1951)

考虑地理气候因素影响的接触网综合载流量计算方法及其应用

..... 孙立军, 张若鹏, 田铭兴, 张慧英, 王黎 (1958)

基于谐波状态空间模型的 MMC 系统高频振荡分析

..... 黄方能, 韦超, 周剑, 刘洪涛, 朱建行, 林磊 (1967)

基于电网不平衡的三相 Vienna 整流器双闭环控制策略

..... 冯兴田, 崔晓, 马文忠, 王世豪, 张奎同 (1976)

基于二次调频的 VSG 自适应反推鲁棒控制研究

..... 张宇华, 黄珂, 王志南, 孙晓鹏 (1985)

高压并联电抗器匝间保护防饱和和误动方法研究

..... 戴飞扬, 周泽昕, 李勇, 杜丁香, 郭雅蓉, 柳煥章 (1993)

B/S 人机展示关键技术研究及应用

..... 吕闫, 齐晓琳, 王淼, 王磊, 韩映 (2001)

基于网格化的极端灾后配电网电力-通信协调恢复策略

..... 陈彬, 于继来, 周霞, 林沪生 (2009)

利用概率统计特性的保护告警信息特征降维方法

..... 盖晓平, 王冬青, 赵喜兰, 高峰, 林昌年 (2017)

基于 1D-CNN-LSTM 混合神经网络模型的双桥并联励磁功率单元故障诊断

..... 杨彦杰, 董哲, 姚芳, 时光希, 孙若愚 (2025)

· 高电压技术 ·

油纸绝缘老化程度与电荷运动频域参量的定量关系

..... 谢佳成, 董明, 徐广昊, 胡一卓, 杨凯歌, 李金忠 (2033)

一种具备限流功能的混合式高压直流断路器

..... 王振浩, 张力斌, 成龙, 李国庆 (2042)

· 广告索引 · (2050)

《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 45 卷 第 5 期 (总第 450 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

编辑部副主任: 李兰欣 010-82812543

广告部经理: 李慧东 010-82812429

发 行: 闫 颀 010-82812465

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

期刊基本参数: CN 11-2410/TM * 1957 * M * A4 * 409 * zh * P * ¥80.00 * 20000 * 47 * 2021-5 版权所有 未经许可不得转载及上网

POWER SYSTEM TECHNOLOGY

2021, Vol. 45 No. 5 (Ser. 450)

Contents

• Grid-friendly Wind Power Control Technology •

Sub-synchronous Oscillation in DFIG System Connected to Weak Grid

.....ZHU Tingmeng, SUN Haishun, QIN Shiyao, HAN Yingsheng, HUANG Biye, MAO Yujie, WANG Dongze (1641)

Stability Control Method for Grid-connected Converters Based on Symmetric Compensation of Dynamic Characteristics

.....ZHANG Siyuan, LI Meng, LI Shaolin, ZHANG Xueguang, XU Dianguo (1648)

Fuzzy Adaptive Virtual Inertia Control Strategy of Wind Turbines Based on System Frequency Response Interval Division

.....LI Shaolin, WANG Weisheng, ZHANG Xing, LI Chunyan (1658)

Virtual Inertia Control Method Considering Wind Turbine Power Drop and Mechanical Load Optimization

.....QIN Shiyao, DAI Linwang, WANG Ruiming, BI Ran, XU Ting, ZHAO Jianfeng (1665)

Overview on Active Damping Technology of Wind Power Integrated System Adapting to Broadband Oscillation

.....MA Jing, SHEN Yaqi, DU Yanling, LIU Hui, WANG Jingran (1673)

Key Factors Evaluation and Suppression Strategy of Frequency-coupling Mechanism for PMSG Grid-side Converter in Weak AC Grid

.....XU Hailiang, NIE Fei, WANG Shinan (1687)

Improved V/F Control Strategy for Enhancing Stability of Direct-drive Wind Power With VSC-HVDC System

.....RONG Mengfei, WU Hongbin, WU Tonghua, HOU Xiaofan, ZHANG Jun, YU Bin (1698)

Analysis and Suppression of Rotor Speed Fluctuation of DFIG-based Wind Turbines During Fault Ride Through

.....WANG Zhihao, SHI Wenxuan, DING Lei, SUN Yong, YING You (1707)

LVRT Strategy for DFIG Based on Explicit Model Predictive Control and Improved Virtual Impedance

.....LUO Jia, ZHAO Haoran, GAO Shuning, WANG Peng, SUN Kaining (1716)

Comparative Analysis of Doubly-fed Wind Turbine Stability Based on Voltage Source and Current Source

.....XIE Zhen, XU Kebao, QIN Shiyao, ZHANG Xing, LI Shaolin (1724)

• National Key Research and Development Program of China •

Conception and Application of Virtual Load in Intelligent Panoramic Grid

.....ZHANG Xiaohua, YANG Hongying, LIU Daowei, LI Baiqing, FENG Changyou, YAN Jianfeng, ZENG Yuan (1734)

Optimal Allocation of Intermittent Distributed Generation Based on Deep Convolutions Generative Adversarial Network in Scenario Generation

.....GU Jie, LIU Shuqi, HU Yu, MENG Lu (1742)

Power Cloud Coupled Model for Wind-photovoltaic-hydro Hybrid Power Generation System

.....YAO Yanxiang, YE Lin, QU Xiaoxu, WANG Weisheng, FAN Yue (1750)

Capacity Configuration Optimization of Multi-energy Complementary Power System Based on Contract Load Curve

.....SHAO Zhifang, ZHANG Dongqiang (1757)

Impact of Historical Data Selection on Accuracy of Ultra-short-term Wind Power Prediction Based on Prediction Information Entropy

.....WU Chao, ZHU Guiping, QIAN Minhui (1767)

Optimal Current Control Algorithm in Medium Voltage DC Converters

.....JIN Yangxin, GAO Yibo (1773)

Transmission Line Modeling for High-frequency Resonance Analysis of MMC-HVDC Systems

.....MAN Jiufang, XIE Xiaorong, TANG Jian, WANG Yanhui, LUO Yongzhi (1782)

DC Grid Fault Clearing and Reclosing Scheme With R-C Current Transfer Branch

.....JIANG Chunbing, YU Yongjie, ZHAO Chengyong (1790)

• High Share of Renewable Energy Integration •

Distributed Photovoltaic Station Cluster Gridding Short-term Power Forecasting Part I: Methodology and Data Augmentation

.....QIAO Ying, SUN Rongfu, DING Ran, LI Shangqiang, LU Zongxiang (1799)

Mechanism for Photovoltaic Generation System Suppressing Power System Oscillations

.....CHAI Hua, ZHANG Xuejun, LI Mingxian, TANG Zhen, HAO Jie, ZHENG Huiping (1809)

Multi-objective Optimal Configuration of Renewable Distributed Generation Based on Modified Multi-scene Krawczyk Interval Power Flow Algorithm

.....SHAO Zhenguo, HUANG Xindong, ZHANG Yan, CHEN Feixiong (1818)

Scheduling Strategy of Wind Penetration Multi-source System Considering Multi-time Scale Source-load Coordination

.....CUI Yang, ZHANG Jiarui, ZHONG Wuzhi, WANG Zheng, ZHAO Yuting (1828)

Dynamic State Estimation for Doubly Fed Induction Generator Wind Turbine Based on Adaptive Cubature Kalman Filter

.....WANG Tong, GAO Mingyang, HUANG Shilou, WANG Zengping (1837)

Optimal Control Strategy for Wind Power Curtailment Considering Optimal Speed and Pitch Angle Control

.....ZHANG Sanhong, DANG Jie, DAI Jianfeng, YU Zhipeng, TANG Yi (1844)

Source-grid Coordination of Hydraulic Turbine Governing System

.....XIAO Yang, LIU Wei, WANG Guanhong, XIA Chao, LI Zhiqiang, YU Dahai, MA Chenyuan (1852)

Current Protection Optimization Scheme in Distribution Network With Large Capacity Distributed Generators

.....YUAN Zhiyong, XU Quan, XU Gang, LEI Jinyong, YU Rui, LIN Yuehuan (1862)

Fuzzy Adaptive VSG Control Strategy Considering Energy Storage Capacity and SOC Constraint

.....YANG Fan, SHAO Yinlong, LI Dongdong, LIN Shunfu, ZHAO Yao (1869)

• Energy Internet •

Low-carbon Economic Dispatch Considering The Integrated Flexible Operation Mode of Carbon Capture Power Plant

..... CUI Yang, ZENG Peng, HUI Xinxin, LI Hongbo, ZHAO Juntian (1877)

Optimization of Location and Capacity for Wind-solar-energy Storage Combined System Based on Chance Constraints and $N-1$ Security Constraints

..... MENG Yuan, FAN Xiaochao, SHI Ruijing, WANG Weiqing (1886)

Coordinated Scheduling Between Electric Vehicles and Photovoltaic Power Generation With Limited Times of Charging and Discharging Switches

..... LÜ Guangqiang, WEI Xinjie, GUO Zhen (1894)

Load Transfer Capability of HV Distribution Network and Coordinated Operation With Energy Storage Power Station Based on Model

Predictive Control..... ZENG Yu, LIU Youbo, GAO Hongjun, ZHANG Xi, ZHAO Liang, LIU Chang, WEI Wei, LIU Junyong (1902)

Current Sharing Control Strategy of Parallel DC Micro-sources Based on Line Impedance Compensation

..... ZHANG Qinjin, ZHUANG Xuzhou, LIU Yancheng, GUO Haohao, WANG Chuan (1912)

Cooperative Operation of Optical Storage System Based on Virtual Inertial Control

..... MENG Jianhui, ZHAO Penghui, WANG Yi, ZHANG Yun (1921)

• Electricity Market •

Integrated Demand Response Market Mechanism Considering Adjustable Region of Integrated Energy Service Providers

..... LIU Qixing, HU Yaping, XU Danli, YANG Lin, SUN Yu (1932)

Member Selection Model of Thermal-wind-storage-EIE Virtual Power Plant Considering Comprehensive Efficiency Evaluation

..... WANG Ruizhuo, LIU Huaidong, CUI Liyao, ZHAO Yanqi, LIU Hao (1942)

• Power System •

Analysis of Distribution of Metro Stray Current in Urban Power Grid and Its Influencing Factors

..... SHI Yuntao, ZHAO Liping, LIN Sheng, REN Yonghao, WANG Aimin, WU Guoxing (1951)

Calculation and Application of Permissible Carrying Capacity of OCS Considering Influence of Geographical and Climatic Factors

..... SUN Lijun, ZHANG Ruopeng, TIAN Mingxing, ZHANG Huiying, WANG Li (1958)

MMC System High Frequency Resonance Based on Harmonic State Space Model

..... HUANG Fangneng, WEI Chao, ZHOU Jian, LIU Hongtao, ZHU Jianhang, LIN Lei (1967)

Double Closed-loop Control Strategy of Three-phase Vienna Rectifier Based on Unbalanced Grid

..... FENG Xingtian, CUI Xiao, MA Wenzhong, WANG Shihao, ZHANG Kuitong (1976)

VSG Adaptive Backstepping Robust Control Strategy of VSG Based on Secondary Frequency Modulation

..... ZHANG Yuhua, HUANG Ke, WANG Zhinan, SUN Xiaopeng (1985)

Maloperation Prevention for Inter-turn Protection of High Voltage Shunt Reactor

..... DAI Feiyang, ZHOU Zexin, LI Yong, DU Dingxiang, GUO Yarong, LIU Huanzhang (1993)

Research and Application of Key Technologies for B/S Human-machine Interface

..... LÜ Yan, QI Xiaolin, WANG Miao, WANG Lei, HAN Yi (2001)

Power-communication Coordination Recovery Strategy Based on Gridding Method After Disasters

..... CHEN Bin, YU Jilai, ZHOU Xia, LIN Husheng (2009)

Feature Reduction Method for Alarm Information Protection With Probability Statistical Characteristics

..... GAI Xiaoping, WANG Dongqing, ZHAO Xilan, GAO Feng, LIN Changnian (2017)

Fault Diagnosis of Double Bridge Parallel Excitation Power Unit Based on 1D-CNN-LSTM Hybrid Neural Network Model

..... YANG Yanjie, DONG Zhe, YAO Fang, SHI Guangxi, SUN Ruoyu (2025)

• High Voltages •

Quantitative Relationship Between Aging Degree of Oil-paper and Its Charge Motion Parameters in Frequency Domain

..... XIE Jiacheng, DONG Ming, XU Guanghao, HU Yizhuo, YANG Kaige, LI Jinzhong (2033)

Hybrid High Voltage DC Circuit Breaker With Current Limiting Function

..... WANG Zhenhao, ZHANG Libin, CHENG Long, LI Guoqing (2042)

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

Associate 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