

电网技术

POWER SYSTEM TECHNOLOGY



第47卷4期

Vol.47 No.4

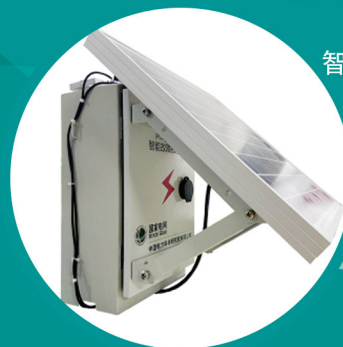


智能故障指示器

由中国电力科学研究院有限公司研发的智能故障指示器，具备精确传感、边缘计算、云端协同等功能，支持多种气候环境、运行方式、中性点接地方式等条件下的6~35kV配电网短路、单相接地、断线故障的自适应诊断以及潜在风险在线辨识，可实现交直流相电压录波，有效避免环境噪声与强电磁干扰，准确识别并快速响应1%及以上的电压变动。故障诊断时间小于1s，过渡电阻5kΩ以下的单相接地故障诊断准确率达到90%以上。



智能故障指示器采集单元



智能故障指示器汇集单元



国家电网
STATE GRID

中国电力科学研究院有限公司
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

联系人：黄硕

邮箱：huangshuo@epri.sgcc.com.cn

联系电话：13501238623

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 汪懋生
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 ·

新能源场站电网暂态电压支撑技术发展动态
.....韩民晓, 赵正奎, 郑竞宏, 曹武, 王伟胜, 汪挺 (1309)

考虑功角稳定和暂态过电压的新能源电压穿越控制参数优化
.....林伟芳, 任晓钰, 张桂红, 雷雨, 赵源上, 张祥成 (1323)

计及深度信念网络场景生成的风/光/储协同优化规划方法
.....史昭娣, 黄越辉, 李湃, 王伟胜 (1331)

考虑需求响应和源荷不确定性的光储微电网储能优化配置
.....南斌, 董树锋, 唐坤杰, 朱勤婷, 张祥龙, 陈炜 (1340)

考虑辅助服务收益的储能与火电机组灵活性改造协调规划方法
.....杨修宇, 刘雪媛, 郭琪, 孙勇, 严干贵, 李海燕 (1350)

风电机组变桨减载一次调频模型及聚合方法
.....奥博宇, 王方政, 陈磊, 王罗, 闵勇, 刘喜泉, 郭剑波 (1360)

双馈风电机组虚拟惯量控制量化分析与参数优化整定
.....张进, 李少林, 王伟胜, 秦世耀, 李春彦 (1369)

含高比例风电系统随机备用调度研究杜刚, 赵冬梅, 刘鑫 (1378)

基于海马优化器的光伏-温差混合系统重构
...杨博, 王加荣, 黄剑湘, 陈义军, 郭正勋, 束洪春, 韩一鸣, 闫云凤 (1386)

惯性同步构网型变换器定量感知电网频率的机理及抗干扰控制策略
.....桑顺, 徐婷, 齐琛, 黄杰杰, 薛晓岑 (1395)

一种三相级联H桥光伏并网系统参与电网频率支撑的控制策略
.....李学庆, 原熙博, 柴建云, 黎明, 李梁冉, 由蕤 (1407)

· 新型电力系统故障特征及继电保护技术 ·

基于能量分布的新能源场站送出线路纵联保护
.....杨国生, 樊沛林, 王聪博, 余越, 吕鹏飞, 梁英, 张志 (1415)

基于电流突变采样值轨迹特征的快速母线保护
.....王兴国, 于湖, 周泽昕, 郭雅蓉, 李勇, 柳焕章 (1423)

基于励磁绕组差模电流基频分量的新型磁阀式并联电抗器匝间保护方案
.....郑涛, 孟令昆, 杨剑友, 田浩宇, 苏毅 (1432)

基于暂态电流比值的多端柔性直流电网保护
.....刘佳硕, 李永丽, 陈晓龙, 刘宁宁, 周宁 (1439)

风电场双回送出线路时域故障测距新方法
.....束洪春, 邓亚琪, 曹璞璐, 朱梦梦, 马御棠, 安娜 (1450)

电网对称短路故障时虚拟同步机电流解析计算及影响因素分析
.....郑涛, 王子鸣, 邹其鑫, 王洪炳 (1460)

基于改进灰狼算法与最小二乘支持向量机耦合的电力变压器故障诊断方法
.....李云淇, 咸日常, 张海强, 赵飞龙, 李嘉洋, 王玮, 李增悦 (1470)

基于格拉姆角场变换和深度压缩模型的变压器故障识别方法
.....刘志坚, 何蔚, 刘航, 谢静, 陶韵旭, 张德春 (1478)

柔性直流输电系统的桥臂功率解析
.....雷顺广, 束洪春, 李志民, 田鑫萃, 王广雪 (1490)

· 支撑碳达峰、碳中和的能源电力关键技术 ·

图深度学习技术在智能暂态稳定评估中的应用及展望
.....黄济宇, 管霖, 郭梦轩, 苏寅生, 周保荣, 姚海成, 钟智 (1500)

考虑夏普比率的虚拟电厂日前投标策略
..... 王伟韬, 王旭, 蒋传文, 白冰青, 张镛 (1512)
面向能源转换的能源定价多维合约
..... 刘家华, 张碧玲, 王云鹏, 胡蕾, 张杰一 (1523)
低成本对抗性隐蔽虚假数据注入攻击及其检测方法
..... 黄冬梅, 丁仲辉, 胡安锋, 王晓亮, 时帅 (1531)

· 面向双碳目标的综合能源系统关键技术 ·

基于格拉姆角场与改进 CNN-ResNet 的风电功率预测方法
..... 张淑清, 杜灵韵, 王册浩, 姜安琦, 徐丽华 (1540)
社区微网主动能量管理协同与优化方法研究
..... 侯媛媛, 曾君, 罗燕, 刘俊峰 (1548)
考虑电站集群与发电时变特性的风光出力描述方法
..... 王月, 申建建, 程春田, 周彬彬, 张聪通 (1558)
提升惯量响应与转速恢复的风储协调惯量控制方法
..... 李世春, 申鹭, 程绪长, 周沁, 鲍志阳, 柴俊杰, 薛臻瑶 (1570)
跟踪计划出力的新能源场站与汇集站储能协调运行策略
..... 东亚光, 李凤婷, 王森 (1579)
基于源荷协同降碳的综合能源系统分布鲁棒经济调度
..... 孙惠娟, 吴鹏, 彭春华, 柳劲松, 时珊珊, 冯晓滨 (1589)
基于优势柔性策略-评价算法和迁移学习的区域综合能源系统优化调度
..... 罗文健, 张靖, 何宇, 古庭赙, 聂祥论, 范璐钦, 袁旭峰, 李博文 (1601)
基于萤火虫扰动麻雀搜索算法-极限学习机的光伏阵列故障诊断方法研究
..... 赵靖英, 吴晶晶, 张雪辉, 张文煜, 姚帅亮 (1612)
一种联合 PID 控制与扩展卡尔曼滤波的磷酸铁锂电池荷电状态估算方法
..... 周娟, 林加顺, 吴乃豪, 杨晓全, 周专, 张子尧 (1623)

· 电力系统 ·

弱连接 VSC 在“外环-锁相环”时间尺度下的一类小扰动稳定性提升方法
及等效性分析..... 李霞林, 李佳鑫, 朱琳, 黄玉辉, 张晨, 郭力 (1632)
基于频率耦合阻抗的直驱风电机组次同步振荡关键影响因素分析及抑制
措施..... 肖仕武, 徐立光 (1641)
考虑风电时序特性的深度小波-时序卷积网络超短期风功率预测
..... 陈海鹏, 李赫, 阚天洋, 赵畅, 张忠, 于海薇 (1653)
相域恒阻抗同步电机移频电磁暂态建模与仿真
..... 夏越, 游智凯, 赵鹏, 杜松怀, 苏娟 (1663)
基于节点电压方程拆解的交替迭代潮流算法
..... 冯卓诚, 姜彤, 万凯遥, 蔡洲 (1675)
考虑相关不确定性的环网静态电压稳定极限二阶锥优化迭代算法
..... 陈昌, 姜彤, 万凯遥 (1682)
基于半马尔科夫过程的混合式直流断路器多状态可靠性分析
..... 潘恒毅, 许建中, 华回春, 贾秀芳, 付丰豪 (1692)
采用区间型非同步监测数据的鲁棒动态谐波状态估计
..... 林洪洲, 邵振国, 陈飞雄, 林俊杰, 林潇 (1701)
基于自适应步长双闭环模型预测控制的主动配电网优化调度
..... 彭春华, 杨一帆, 孙惠娟, 董帅强 (1709)
数据与模型驱动在输电杆塔风致灾损预测中的应用对比分析
..... 侯慧, 朱韶华, 吴细秀, 魏瑞增, 梁永超, 何浣 (1721)

· 新兴技术与标准 ·

电网稳定控制技术国际标准现状与发展 薛峰, 董希建, 李碧君 (1728)

· 广告索引 · (1740)

《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4期 (总第473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. 4 (Ser. 473)

Contents

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

- Development of Dynamic Voltage Support for Power Grid with Large-scale Renewable Energy Generation**
..... HAN Minxiao, ZHAO Zhengkui, ZHENG Jinghong, CAO Wu, WANG Weisheng, WANG Ting (1309)
- Optimization of Voltage Ride-through Control Parameters of Renewable Energy Considering Power Angle Stability and Transient Overvoltage**
..... LIN Weifang, REN Xiaoyu, ZHANG Guihong, LEI Yu, ZHAO Yuanshang, ZHANG Xiangcheng (1323)
- Collaborative Optimization Planning for Wind/PV/storage Based on Scenario Generated by Deep Belief Network**
..... SHI Zhaodi, HUANG Yuehui, LI Pai, WANG Weisheng (1331)
- Optimal Configuration of Energy Storage in PV-storage Microgrid Considering Demand Response and Uncertainties in Source and Load**
..... NAN Bin, DONG Shufeng, TANG Kunjie, ZHU Mengting, ZHANG Xianglong, CHEN Wei (1340)
- Coordinated Planning of Energy Storage and Flexible Retrofit of Thermal Power Units Considering Ancillary Service Income**
..... YANG Xiuyu, LIU Xueyuan, GUO Qi, SUN Yong, YAN Gangui, LI Haiyan (1350)
- Primary Frequency Regulation Model and Aggregation of Deloading Wind Turbine Generators With Pitch Angle Adjustment**
..... AO Boyu, WANG Fangzheng, CHEN Lei, WANG Luo, MIN Yong, LIU Xiquan, GUO Jianbo (1360)
- Quantitative Analysis and Parameter Optimization of Virtual Inertia Control for Doubly Fed Wind Turbine**
..... ZHANG Jin, LI Shaolin, WANG Weisheng, QIN Shiyao, LI Chunyan (1369)
- Stochastic Reserve Scheduling of High Proportion Wind Power System**..... DU Gang, ZHAO Dongmei, LIU Xin (1378)
- Reconfiguration of PV-TEG Hybrid System Based on Sea Horse Optimizer**
..... YANG Bo, WANG Jiarong, HUANG Jianxiang, CHEN Yijun, GUO Zhengxun, SHU Hongchun, HAN Yiming, YAN Yunfeng (1386)
- Mechanism of Quantitatively Sensing Grid Frequency and Anti-disturbance Control Strategy for the Grid-forming Converter**
..... SANG Shun, XU Ting, QI Chen, HUANG Jiejie, XUE Xiaocen (1395)
- Grid Frequency Support Control Strategy of Three-phase Cascaded H-bridge Photovoltaic Grid-connected System**
..... LI Xueqing, YUAN Xibo, CHAI Jianyun, LI Ming, LI Liangran, YOU Rui (1407)

• New Power System Fault Characteristics and Relay Protection Technology •

- Pilot Protection Based on Energy Distribution for Transmission Line Connected to Renewable Power Plants**
..... YANG Guosheng, FAN Peilin, WANG Congbo, YU Yue, LÜ Pengfei, LIANG Ying, ZHANG Zhi (1415)
- Bus Protection Based on Trajectory Characteristics of Current Sample Value Mutation**
..... WANG Xingguo, YU Su, ZHOU Zexin, GUO Yarong, LI Yong, LIU Huanzhang (1423)
- Turn to Turn Protection Scheme for Novel Magnetic Valve Controllable Reactor Based on Fundamental Frequency Component of Differential Mode Current of Excitation Winding**..... ZHENG Tao, MENG Lingkun, YANG Jianyou, TIAN Haoyu, SU Yi (1432)
- Novel Protection Based on Transient Current Ratio for MTDC Grid**
..... LIU Jiashuo, LI Yongli, CHEN Xiaolong, LIU Ningning, ZHOU Ning (1439)
- Novel Method of Time-domain Fault Location for Wind Farm Double-circuit Transmission Lines**
..... SHU Hongchun, DENG Yaqi, CAO Pulin, ZHU Mengmeng, MA Yutang, AN Na (1450)
- Fault Current Calculation and Influencing Factors Analysis of Virtual Synchronous Generator Under Symmetrical Short Circuit Fault**
..... ZHENG Tao, WANG Ziming, ZOU Pengying, WANG Hongbing (1460)
- Fault Diagnosis for Power Transformers Based on Improved Grey Wolf Algorithm Coupled With Least Squares Support Vector Machine**
..... LI Yunhao, XIAN Richang, ZHANG Haiqiang, ZHAO Feilong, LI Jiayang, WANG Wei, LI Zengyue (1470)
- Fault Identification Method for Power Transformer Based on Gramian Angular Field Transformation and Deep Compression Model**
..... LIU Zhijian, HE Wei, LIU Hang, XIE Jing, TAO Yunxu, ZHANG Dechun (1478)
- Bridge Arm Power Analysis of Flexible HVDC Transmission System**
..... LEI Shunguang, SHU Hongchun, LI Zhimin, TIAN Xincui, WANG Guangxue (1490)

• Key Technologies of Power and Energy Systems for Supporting Peak Carbon Dioxide Emissions and Carbon Neutrality •

- Application and Prospect of Graph Deep Learning Technique in Intelligent Transient Stability Assessment**
..... HUANG Jiyu, GUAN Lin, GUO Mengxuan, SU Yinsheng, ZHOU Baorong, YAO Haicheng, ZHONG Zhi (1500)
- Day Ahead Bidding Strategy for Virtual Power Plants Considering Sharpe Ratio**
..... WANG Weitao, WANG Xu, JIANG Chuanwen, BAI Bingqing, ZHANG Ke (1512)
- Multidimensional Energy Pricing Contract for Energy Conversion**
..... LIU Jiahua, ZHANG Biling, WANG Yunpeng, HU Lei, ZHANG Jieyi (1523)
- Low-cost Adversarial Stealthy False Data Injection Attack and Detection Method**
..... HUANG Dongmei, DING Zhonghui, HU Anduo, WANG Xiaoliang, SHI Shuai (1531)

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

Wind Power Forecasting Method Based on GAF and Improved CNN-ResNet

.....ZHANG Shuqing, DU Lingyun, WANG Cehao, JIANG Anqi, XU Lihua (1540)

Research on Collaborative and Optimization Methods of Active Energy Management in Community Microgrid

.....HOU Yuanyuan, ZENG Jun, LUO Yan, LIU Junfeng (1548)

Description of Wind and Solar Power Generation Considering Power Plant Clusters and Time-varying Power Characteristics

.....WANG Yue, SHEN Jianjian, CHENG Chuntian, ZHOU Binbin, ZHANG Congtong (1558)

Wind-storage Coordinated Inertia Control for Improving Inertia Response and Rotor Speed Recovery

.....LI Shichun, SHEN Ao, CHENG Xuchang, ZHOU Qin, BAO Zhiyang, CHAI Junjie, XUE Zhenyao (1570)

Energy Storage Coordinated Operation Strategy of New Energy Stations and Collection Stations by Tracking Planned Output

.....DONG Yaguang, LI Fengting, WANG Sen (1579)

Distributionally Robust Economic Scheduling for Integrated Energy Systems Based on Source-load Cooperative Carbon Reduction

.....SUN Huijuan, WU Peng, PENG Chunhua, LIU Jinsong, SHI Shanshan, FENG Xiaobin (1589)

Optimal Scheduling of Regional Integrated Energy System Based on Advantage Learning Soft Actor-critic Algorithm and Transfer Learning

.....LUO Wenjian, ZHANG Jing, HE Yu, GU Tingyun, NIE Xianglun, FAN Luqin, YUAN Xufeng, LI Bowen (1601)

Fault Diagnosis of Photovoltaic Arrays Based on Sparrow Search Algorithm With Firefly Perturbation-extreme Learning Machine

.....ZHAO Jingying, WU Jingjing, ZHANG Xuehui, ZHANG Wenyu, YAO Shuailiang (1612)

State of Charge Estimation for LiFeO₄ Battery Combining PID Control and Extended Kalman Filter

.....ZHOU Juan, LIN Jiashun, WU Naihao, YANG Xiaoquan, ZHOU Zhuan, ZHANG Ziyao (1623)

• Power System •

Equivalence Analysis of A Class of Small-signal Stability Enhancement for Weak Grid Connected VSCs in “Outer-loop & PLL” Time-scale

.....LI Xialin, LI Jiabin, ZHU Lin, HUANG Yuhui, ZHANG Chen, GUO Li (1632)

Analysis of Key Factors and Suppression Measures for Sub-synchronous Oscillation of Direct-drive PMSG Based on Frequency Coupled Impedance

.....XIAO Shiwu, XU Liguang (1641)

DWT-DTCNA Ultra-short-term Wind Power Prediction Considering Wind Power Timing Characteristics

.....CHEN Haipeng, LI He, KAN Tianyang, ZHAO Chang, ZHANG Zhong, YU Haiwei (1653)

Modeling of Synchronous Machine in Phase Domain With Constant Inner Impedance Based on Frequency Shifting Theory

.....XIA Yue, YOU Zhikai, ZHAO Peng, DU Songhuai, SU Juan (1663)

An Alternating Iterative Power Flow Algorithm Based on Bus Voltage Equation Decomposition

.....FENG Zhuocheng, JIANG Tong, WAN Kaiyao, CAI Zhou (1675)

Conic Optimization Iterative Algorithm for Static Voltage Stability Limit of Ring Network Under Related Uncertainties

.....CHEN Chang, JIANG Tong, WAN Kaiyao (1682)

Multi-state Reliability Analysis of Hybrid DC Circuit Breakers Based on Semi-Markov Process

.....PAN Hengyi, XU Jianzhong, HUA Huichun, JIA Xiufang, FU Fenghao (1692)

Robust Dynamic Harmonic State Estimation Using Interval Asynchronous Monitoring Data

.....LIN Hongzhou, SHAO Zhenguo, CHEN Feixiong, LIN Junjie, LIN Xiao (1701)

Optimal Scheduling of Active Distribution Network Based on Adaptive Step Double Loop Model Predictive Control

.....PENG Chunhua, YANG Yifan, SUN Huijuan, DONG Shuaiqiang (1709)

Comparative Analysis of Data-driven Method and Model-driven Method in Wind-induced Damage Prediction of Transmission Towers

.....HOU Hui, ZHU Shaohua, WU Xixiu, WEI Ruizeng, LIANG Yongchao, HE Huan (1721)

• Emerging Technologies and Standards •

Present Situation and Development of International Standardization for Power System Stability Control Technology

.....XUE Feng, DONG Xijian, LI Bijun (1728)

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