

电网技术



POWER SYSTEM TECHNOLOGY

第44卷3期

Vol.44 No.3



赫兹曼电力

防止电缆火灾 选赫兹曼电力!

提高选线正确率 选赫兹曼电力!

“相不对称” PAM高精度单相小电流接地故障检测

产品优势

- 只需取样三相CT电流, 可不停电安装不需PT等辅助设备, 安装简便快捷
- 适用中性点不接地、经消弧线圈接地电缆网、架空线路及混合配电网
- 8000欧姆及以下高阻接地故障检测准确 (通过国网漯河真型试验站检测)
- 拥有多项行业国际发明专利(证书号 第2082045号; 证书号 第2406020号; 证书号WO2011/159248 A1)

选型配置

- IPS2 基础型 环网柜型
- HMED-O系列 架空线型
- HMED-P系列 变电站型



IPS2 基础型 (环网柜型)



HMED-O系列 (架空线型)



HMED-P系列 (变电站型)

应用案例

案例一: 2017年8月, 国家电网一行领导到现场考察沈阳自贸区自动化示范项目, 分布式配电自动化系统与“相不对称”小电流接地故障检测技术得到国网领导关注。

案例二: 2019年4月, 国网辽宁省朝阳供电公司66kV西郊变18套“相不对称”小电流接地故障检测装置投入运行 (见“辽宁电网”公众号6月13日)



想要了解更多有价值的信息, 欢迎扫描下方二维码, 我们只展示您想看的!



官网二维码



微信二维码

赫兹曼电力(广东)有限公司

HMPower(Guangdong)Co.,Ltd

http://www.hmpower.com.cn

地址: 广东省佛山市顺德区大良五沙科技工业园科颐园(新悦路20号)

电话: 400-806-1138 13904016817 传真: 0757-29991639

ISSN 2095-641X



9 772095 641208

万方数据



国家电网有限公司 主办

《电网技术》

编辑委员会

主任：刘振亚

委员（按姓氏笔画排序）：

Wei-Jen Lee 丁明 尹积军 文福拴

王敏 王成山 王相勤 王益民

Haifeng Wang (王海风) 韦化

帅军庆 伍萱 刘广迎 刘开俊

刘开培 刘玉田 刘建明 印永华

孙昕 汤涌 纪延超 吴云

吴玉生 Qinghua Wu (吴青华)

张文亮 张丽英 张启平 张运洲

张春城 张智刚 李卫东 李文毅

李向荣 李庆林 李成榕 李群湛

杜至刚 杨庆 肖世杰 肖立业

陈峰 陈月明 周浩 郑宝森

K L Lo (罗国麟) 段献忠 赵庆波

Wilsun Xu (徐文远) 索南加乐

栾军 郭剑波 康重庆 曹一家

曹均正 曹志安 黄强 程浩忠

舒印彪 葛正翔 路书军 廖瑞金

穆钢 鞠平

顾问委员会

主任：陆延昌

副主任：周孝信 郑健超

委员（按姓氏笔画排序）：

马伟明 王锡凡 卢强 孙才新

朱英浩 严陆光 余贻鑫 宋永华

Felix Wu (吴复立) 杨奇逊 汪慜生

沈国荣 邱爱慈 陆佑楣 陈清泉

赵遵廉 唐任远 顾国彪 黄其励

程时杰 韩祯祥 潘家铮 薛禹胜

目次

· 国家重点研发计划 ·

考虑多周期协调的新能源电力系统全景运行模拟方法与评估指标体系

.....元一平, 王建学, 张耀, 周磊, 王学斌, 卢国强 (799)

考虑系统频率二次跌落的风电机组辅助调频参数确定方法

.....乔颖, 郭晓茜, 鲁宗相, 孙荣富 (807)

考虑储能动态效率的风储微网三阶段协调优化

.....徐青山, 吕亚娟, 丁逸行 (816)

基于虚拟额定电流的直流微电网分布式储能单元精确电流分配研究

.....米阳, 陈鑫, 季亮, 喻思, 何星塘, 田书欣 (823)

基于稀疏电压幅值量测的配电网故障测距

.....贾科, 董雄鹰, 李论, 冯涛, 毕天姝 (835)

EMTR 理论在电力系统线路故障测距中的应用基础 I: 理论部分

.....张希鹏, 邵能灵, 郑晓冬, 黄文焘 (845)

EMTR 理论在电力系统线路故障测距中的应用基础 II: 仿真部分

.....张希鹏, 邵能灵, 郑晓冬, 黄文焘 (854)

· 可再生能源发电与综合消纳技术 ·

双馈风机经串补并网引起的时变次同步谐振概率评估

.....廖坤玉, 陶顺, 姚黎婷, 肖湘宁, 杨琳 (863)

基于阻抗模型闭环极点的双馈风电系统次同步振荡稳定性分析

.....唐冰婕, 迟永宁, 田新首, 李琰 (871)

高比例水电系统 AGC 稳定性分析及控制策略优化

.....杨荣照, 陈亦平, 夏成军, 张勇, 唐卓尧, 杨若朴, 黄济宇 (880)

直流微电网多源并联自主均流控制策略

.....张勤进, 庄绪州, 刘彦呈, 王川 (887)

基于非线性扰动观测器的光伏并网逆变器直流侧母线电压控制

.....刘鑫蕊, 高超, 王智良 (897)

配电网光伏消纳能力定界模拟与消纳方案综合择优

.....薛蕾, 井天军, 陈义, 王维洲 (907)

基于 VMD-DESN-MSGP 模型的超短期光伏功率预测

.....王粟, 江鑫, 曾亮, 常雨芳 (917)

面向广义负荷的电池储能系统等效建模研究

.....屈星, 李欣然, 盛义发, 肖金凤, 文娟, 邓攀 (926)

城际高速路网中光储充电站的定容规划

.....杨健维, 李爱, 廖凯 (934)

三相四桥臂逆变器不对称故障穿越限流控制及电网电压支撑改进策略

.....雷金勇, 葛俊, 谈赢杰, 帅智康, 胡洋, 肖敏 (944)

一种面向分布式新能源网络的终端安全接入技术

.....梅文明, 李美成, 孙炜, 余文豪 (953)

· 电力市场 ·

基于辅助服务费用分摊的新能源电厂并网价格动态计算方法

.....陶仁峰, 李凤婷, 李燕青, 苏常胜, 高光芒, 付林 (962)

基于元模型优化算法的主从博弈多虚拟电厂动态定价和能量管理

.....董雷, 涂淑琴, 李烨, 蒲天骄 (973)

省级电力现货市场中衔接日前出清环节的多日机组组合策略

.....杨辰星, 程海花, 冯树海 (982)

区域互联电网电能量与备用辅助服务联合优化模型研究

.....周华锋, 胡亚平, 聂涌泉, 何锡祺, 赵化时, 夏清, 赖晓文, 董成 (991)

· 电力系统 ·

- 电力系统超低频振荡的阻尼与同步转矩分析
.....高建瑞, 李国杰, 汪可友, 张华 (1001)
- 超低频振荡机理分析及水轮机调速系统参数优化
.....苏亚鹏, 刘天琪, 李保宏, 江琴, 韩晓言, 陈刚 (1008)
- 基于分布式需求侧资源备调池的低频减载优化策略研究
.....孙毅, 李泽坤, 黄绍模, 霍沫霖, 李彬, 马永红 (1016)
- 基于 XGBoost 的电力系统暂态稳定预测方法
.....陈明华, 刘群英, 张家枢, 陈树恒, 张昌华 (1026)
- 基于 Noether 定理的多机系统能量函数构造方法
.....刘志远, 王杰, 刘瑞麟 (1034)
- 基于 GPU 并行处理的大规模连续潮流批量计算
.....刘正元, 陈颖, 宋炎侃, 王明轩, 高仕林 (1041)
- 考虑大气污染物时空分布的多区域电力系统调度及其多目标分布式优化
.....张志义, 余涛, 李昊飞, 王文睿, 瞿凯平, 袁健华 (1047)
- 电力架空线路巡检可见光图像智能处理研究综述
.....刘志颖, 缪希仁, 陈静, 江灏 (1057)
- 基于阻抗特性的级联 H 桥型 PET 并网稳定性分析
.....王哲, 李耀华, 李子欣, 赵聪, 高范强, 罗龙, 王平 (1070)
- 级联 H 桥型动态电压恢复器最优输出与能量自恢复策略研究
.....段青, 盛万兴, 郭祺, 沙广林, 孙勇, 张丽 (1079)
- 集成排序网络的模块化多电平换流器实时仿真模型
.....王宇, 刘崇茹, 凌博文, 侯延琦, 李庚银, 孔玮 (1090)
- 基于三次指数平滑模型与 DBSCAN 聚类的电量数据异常检测
.....肖勇, 郑楷洪, 余忠忠, 周密, 李森, 马千里 (1099)
- 基于组合余弦优化窗四谱线插值 FFT 的电力谐波分析方法
.....陈至豪, 王立德, 王冲, 申萍, 李召召 (1105)
- 基于参数变化的磁饱和式可控电抗器的特性分析
.....张慧英, 田铭兴, 李进, 敬佩 (1114)
- 钳形 Rogowski 线圈性能分析及误差补偿方法
.....李振华, 张阳坡, 蒋伟辉, 李秋惠, 李振兴, 徐艳春 (1121)

· 自动化 ·

- 基于零序电流投影系数的小电阻接地系统高阻接地故障保护
.....杨帆, 刘鑫星, 沈煜, 薛永端, 周志强, 徐丙垠 (1128)
- 一种抗过渡电阻的阻抗测量改进方案
.....马伟, 黄晓波, 吴旻昊, 罗少杰, 尤敏, 丁冬, 陈聪, 王明昶 (1134)
- 不同功率水平下压水堆核电机组甩负荷保护研究
.....文立斌, 李俊, 孙艳, 张翌晖, 刘光时 (1140)
- 基于深度迁移学习的小样本智能变电站电力设备部件检测
.....马鹏, 樊艳芳 (1148)
- 混合型相控开关在地面自动过分相中的应用
.....王硕, 邹积岩, 张立岩, 田宇, 董思源, 丛宇 (1160)

· 高电压技术 ·

- ±400 kV 青藏直流线路鸟粪闪络故障分析及治理
.....周军, 张祥全, 王胜辉, 吕军, 王剑, 彭波, 王晰, 等 (1168)
- 500 kV 高压直流断路器支架绝缘设计
.....欧阳文敏, 杨俊, 王成昊, 张升, 吴学光 (1175)
- 绝缘材料表面污秽颗粒微观分布规律
.....张血琴, 范超, 郭裕钧, 刘凯, 刘毅杰, 吴广宁 (1180)

· 工程应用 ·

- 藏中联网工程投运后西藏电网网源协调控制研究
.....刘勤, 余锐, 刘柏私, 戚宇辰, 胡伟 (1188)
- D5000 继电保护设备在线监视及分析应用提升
.....雷明, 陈一棕, 刘峰, 何一鸣, 樊磊 (1197)

《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 44 卷 第 3 期 (总第 436 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: 张文亮
副主编: 郭剑波 汤 涌
编辑部副主任: 李兰欣 010-82812543
广告部经理: 齐 华 010-58386112
发 行: 闰 頔 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
北京市昌平区七北路马连店甲 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
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
广告经营许可证号: 京海工商广字第 0168 号

POWER SYSTEM TECHNOLOGY

2020, Vol. 44 No. 3 (Ser. 436)

Contents

• National Key Research and Development Program of China •

- Panoramic Operation Simulation Approach and Estimation Index System for New Energy Power System Considering Multi-period Coordination**..... YUAN Yiping, WANG Jianxue, ZHANG Yao, ZHOU Lei, WANG Xuebin, LU Guoqiang (799)
- Parameter Setting of Auxiliary Frequency Regulation of Wind Turbines Considering Secondary Frequency Drop**..... QIAO Ying, GUO Xiaoqian, LU Zongxiang, SUN Rongfu (807)
- Three-stage Coordinated Optimization of Wind-storage Microgrids Considering Dynamic Efficiency Characteristics of Energy Storage**..... XU Qingshan, LÜ Yajuan, DING Yixing (816)
- Accurate Current Sharing of Distributed Energy Storage Units in DC Microgrid Based on Virtual Rated Current**..... MI Yang, CHEN Xin, JI Liang, YU Si, HE Xingtang, TIAN Shuxin (823)
- Fault Location for Distribution Network Based on Transient Sparse Voltage Amplitude Measurement**..... JIA Ke, DONG Xiongying, LI Lun, FENG Tao, BI Tianshu (835)
- Application Basis of EMTR Theory for Line Fault Location in Power System I: Theoretical Part**..... ZHANG Xipeng, TAI Nengling, ZHENG Xiaodong, HUANG Wentao (845)
- Application Basis of EMTR Theory for Line Fault Location in Power System II: Simulation Part**..... ZHANG Xipeng, TAI Nengling, ZHENG Xiaodong, HUANG Wentao (854)

• Renewable Energy Generation and Integration •

- Probability Evaluation on Time-varying Sub-synchronous Resonance Caused by Grid-connected DFIG With Series Compensation**..... LIAO Kunyu, TAO Shun, YAO Liting, XIAO Xiangning, YANG Lin (863)
- Stability Analysis of Subsynchronous Oscillation in DFIG-based Wind Power System Based on Closed-loop Poles of Impedance Model**..... TANG Bingjie, CHI Yongning, TIAN Xinshou, LI Yan (871)
- Stability Analysis and Control Strategy Optimization of AGC With High-proportion Hydropower System**..... YANG Rongzhao, CHEN Yiping, XIA Chengjun, ZHANG Yong, TANG Zhuoyao, YANG Ruopu, HUANG Jiyu (880)
- Autonomous Current Sharing Control Strategy for Parallel Micro-sources in DC Microgrids**..... ZHANG Qinjin, ZHUANG Xuzhou, LIU Yancheng, WANG Chuan (887)
- DC-bus Voltage Control for PV Grid-connected Inverter Based on Nonlinear Disturbance Observer**..... LIU Xinrui, GAO Chao, WANG Zhiliang (897)
- Boundary Simulation of PV Accommodation Capacity of Distribution Network and Comprehensive Selection of Accommodation Scheme**..... XUE Lei, JING Tianjun, CHEN Yi, WANG Weizhou (907)
- Ultra-short-term Photovoltaic Power Prediction Based on VMD-DESN-MSGP Model**..... WANG Su, JIANG Xin, ZENG Liang, CHANG Yufang (917)
- Research on Equivalent Modeling of Battery Energy Storage System for Load Modeling**..... QU Xing, LI Xinran, SHENG Yifa, XIAO Jinfeng, WEN Juan, DENG Pan (926)
- Capacity Planning of Light Storage Charging Station for Intercity Highways Based on Charging Guidance**..... YANG Jianwei, LI Ai, LIAO Kai (934)
- Asymmetrical Fault-ride-through Strategy of Three-phase Four-leg Inverter With Current Limitation and Grid Voltage Support**..... LEI Jinyong, GE Jun, TAN Yingjie, SHUAI Zhikang, HU Yang, XIAO Min (944)
- Terminal Security Access Technology for Distributed New Energy Networks**..... MEI Wenming, LI Meicheng, SUN Wei, YU Wenhao (953)

• Electricity Market •

- A Dynamic Tariff Calculation Method of Renewable Power Plants Based on Ancillary Service Cost Allocation**..... TAO Renfeng, LI Fengting, LI Yanqing, SU Changsheng, GAO Guangmang, FU Lin (962)
- A Stackelberg Game Model for Dynamic Pricing and Energy Management of Multiple Virtual Power Plants Using Metamodel-based Optimization Method**..... DONG Lei, TU Shuqin, LI Ye, PU Tianjiao (973)
- Multi-day Unit Commitment Strategy for Linking-up With Day-ahead Clearing in Provincial Spot Electricity Market**..... YANG Chenxing, CHENG Haihua, FENG Shuhai (982)
- Co-optimization Model of Energy and Reserve Auxiliary Service for Regional Interconnected Power Grid**..... ZHOU Huafeng, HU Yaping, NIE Yongquan, HE Xiqi, ZHAO Huashi, XIA Qing, LAI Xiaowen, DONG Cheng (991)

• Power System •

- Damping Torque and Synchronous Torque Analysis of Power System Ultra-low Frequency Oscillation**..... GAO Jianrui, LI Guojie, WANG Keyou, ZHANG Hua (1001)
- Mechanism Analysis of Ultra-low Frequency Oscillation and Parameter Optimization of Hydro Turbine Governor**..... SU Yapeng, LIU Tianqi, LI Baohong, JIANG Qin, HAN Xiaoyan, CHEN Gang (1008)
- An Improved UFLS Strategy Based on Distributed Demand Side Resource Pools**..... SUN Yi, LI Zekun, HUANG Shaomo, HUO Molin, LI Bin, MA Yonghong (1016)
- XGBoost-based Algorithm for Post-fault Transient Stability Status Prediction**..... CHEN Minghua, LIU Qunying, ZHANG Jiashu, CHEN Shuheng, ZHANG Changhua (1026)

Construction Method of Multi-machine System Energy Function Based on Noether Theorem

..... LIU Zhiyuan, WANG Jie, LIU Ruilin (1034)

Batched Computation of Continuation Power Flow for Large Scale Grids Based on GPU Parallel Processing

..... LIU Zhengyuan, CHEN Ying, SONG Yankan, WANG Mingxuan, GAO Shilin (1041)

Dispatching Model of Multi-area Power Systems Considering Space-time Distribution of Atmospheric Pollutants and Its**Decentralized Multi-objective Optimization**..... ZHANG Zhiyi, YU Tao, LI Haofei, WANG Wenrui, QU Kaiping, YUAN Jianhua (1047)**Review of Visible Image Intelligent Processing for Transmission Line Inspection**

..... LIU Zhiying, MIAO Xiren, CHEN Jing, JIANG Hao (1057)

Stability Analysis of Grid-connected Cascaded H-bridge PET Based on Impedance Characteristic

..... WANG Zhe, LI Yaohua, LI Zixin, ZHAO Cong, GAO Fanqiang, LUO Long, WANG Ping (1070)

Study on Optimal Output and Energy Self-recovery Strategy for CHB-DVR

..... DUAN Qing, SHENG Wanxing, GUO Qi, SHA Guanglin, SUN Yong, ZHANG Li (1079)

Real-time Simulation Model of Modular Multilevel Converter With Sorting Network Integrated

..... WANG Yu, LIU Chongru, LING Bowen, HOU Yanqi, LI Gengyin, KONG Wei (1090)

Power Data Anomaly Detection Based on Holt-winters Model and DBSCAN Clustering

..... XIAO Yong, ZHENG Kaihong, YU Zhongzhong, ZHOU Mi, LI Sen, MA Qianli (1099)

An Approach for Electrical Harmonic Analysis Based on Optimized Composite Cosine Window Four-spectrum-line**Interpolation FFT**..... CHEN Zhihao, WANG Lide, WANG Chong, SHEN Ping, LI Zhaozhao (1105)**Characteristic Analysis of Magnetically-saturated Controllable Reactor Based on Parameter Variation**

..... ZHANG Huiying, TIAN Mingxing, LI Jin, JING Pei (1114)

Research on Clamp-shape Rogowski Coil Performance and Error Compensation Method

..... LI Zhenhua, ZHANG Yangpo, JIANG Weihui, LI Qiuhui, LI Zhenxing, XU Yanchun (1121)

• Automation •**High Resistance Ground Fault Protection of Low Resistance Grounding System Based on Zero Sequence Current****Projection Coefficient**..... YANG Fan, LIU Xinxing, SHEN Yu, XUE Yongduan, ZHOU Zhiqiang, XU Bingyin (1128)**An Improved Scheme of Impedance Measurement Against Transition Resistance**

..... MA Wei, HUANG Xiaobo, WU Minhao, LUO Shaojie, YOU Min, DING Dong, CHEN Cong, WANG Mingchang (1134)

Research on Load Rejection Protection of Pressurized Water Reactor Nuclear Power Units Under Different Power Levels

..... WEN Libin, LI Jun, SUN Yan, ZHANG Yihui, LIU Guangshi (1140)

Small Sample Smart Substation Power Equipment Component Detection Based on Deep Transfer Learning

..... MA Peng, FAN Yanfang (1148)

Asymmetrical Phase-controlled Hybrid Switching System Applied to Ground-switching Auto-passing Neutral Section System

..... WANG Shuo, ZOU Jiyan, ZHANG Liyan, TIAN Yu, DONG Enyuan, CONG Yu (1160)

• High Voltages •**Fault Analysis and Treatment of Bird Dropping Flashover on $\pm 400\text{kV}$ Qinghai-Tibet DC Transmission Line**

..... ZHOU Jun, ZHANG Xiangquan, WANG Shenghui, LÜ Jun, WANG Jian, PENG Bo, WANG Xi, et al (1168)

Research on Insulation Design of 500 kV DC Circuit Breaker Support

..... OUYANG Wenmin, YANG Jun, WANG Chenghao, ZHANG Sheng, WU Xueguang (1175)

Microscopic Distribution of Polluted Particles on the Surface of Insulating Materials

..... ZHANG Xueqin, FAN Chao, GUO Yujun, LIU Kai, LIU Yijie, WU Guangning (1180)

• Engineering Application •**Research on Coordination Between Grid and Generator of Tibet Power Grid After Operation of Central Tibet Networking Project**

..... LIU Qin, YU Rui, LIU Baisi, QI Yuchen, HU Wei (1188)

Online Monitoring and Analysis System Based on D5000 for Relay Protections

..... LEI Ming, CHEN Yicong, LIU Feng, HE Mingyi, FAN Lei (1197)

Sponsor: State Grid Corporation of China**In Cooperation with:** China Electric Power Research Institute (CEPRI)**Chairman of Editorial Committee:** Liu Zhenya**Editor-in-Chief:** Zhang Wenliang**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