

# 电网技术



## POWER SYSTEM TECHNOLOGY

第44卷7期

Vol.44 No.7



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 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 薛勇胜

## 目次

### · 特约专稿 ·

中国特色、全国统一的电力市场关键问题研究(1): 国外市场启示、  
比对与建议 ..... 丁一, 谢开, 庞博, 李竹, 郭立邦 (2401)  
数据驱动技术在虚拟电厂中的应用综述  
..... 李昭昱, 艾芊, 张宇帆, 殷爽睿, 孙东磊, 李雪亮 (2411)

### · 面向新一代电力系统和能源互联网的人工智能 ·

基于数据管治理论的能源互联网数据资产治理方法及关键问题研究  
..... 曾鸣, 许彦斌, 王晟嫣, 方程, 董厚琦, 沈亮 (2420)  
数据驱动的配电网分布式光伏承载力评估技术研究  
..... 梁志峰, 夏俊荣, 孙榕榕, 周昶 (2430)  
基于数据驱动方式和行为决策的电动汽车快充需求预测模型  
..... 邢强, 杨祺铭, 范军太, 张青青, 陈中, 张梓麒, 黄学良, 王瑞升 (2439)  
基于 Attention-LSTM 的有载调容变压器运行方式优化研究  
..... 杨景亮, 齐林海, 陶顺, 王红 (2449)

### · 能源互联网 ·

电热气互联能源系统动态环保经济协同灵活性调度  
..... 钟永浩, 孙永辉, 王庭华, 许周, 王建喜, 熊俊杰, 诸晓骏 (2457)  
考虑多重不确定性的综合能源系统日前优化调度  
..... 周星球, 郑凌蔚, 杨兰, 仇琦 (2466)  
考虑风电消纳的区域综合能源系统源荷协调经济调度  
..... 崔杨, 姜涛, 仲悟之, 崔成伟, 赵钰婷 (2474)  
基于建筑物热能流分析的沼-风-光孤立微能网优化调度模型  
..... 谭洪, 颜伟, 王浩 (2483)  
离网条件下考虑短时间尺度的水光蓄多能互补发电系统备用容量确定方法  
..... 蒋万泉, 刘继春, 韩晓言, 丁理杰, 胡灿, 杨芳, 彭钰祥, 冯麒麟 (2492)  
基于个体优化和系统多能互补的光热电站优化配置方法  
..... 刘树桦, 王建学, 秦绪武, 曹晓宇, 李清涛 (2503)  
大规模风电并网条件下考虑动态频率约束的机组组合  
..... 王博, 杨德友, 蔡国伟 (2513)  
基于预测控制的大惯量风机全工况功率调度跟踪  
..... 王会盼, 刘吉臻, 胡阳, 王坤 (2520)  
考虑误差时序-条件性质的短期风电功率概率预测  
..... 乔颖, 鲁宗相, 吴问足 (2529)  
计及电动汽车不确定性的虚拟电厂参与 AGC 调频服务研究  
..... 袁桂丽, 苏伟芳 (2538)  
基于 DFT 的智能园区中央空调负荷调控策略  
..... 李滨, 黎智能, 陈碧云 (2549)

### · 电力市场 ·

兼顾效率与公平的跨省区电力交易社会福利调整机制研究  
..... 陈政 (2558)  
国家绿色电力证书交易市场与省级日前电力市场协调均衡机制设计  
..... 彭谦, 周晓洁, 杨睿 (2565)  
基于分布式电源模块化互联的多边交易电价机制设计  
..... 熊小萍, 李航, 李宁 (2572)  
电力市场信用评级管理建设探讨  
..... 徐宏, 林新, 朱策, 弥云辉, 王林炎, 张洪, 张粒子 (2582)  
基于多级市场驱动的风电协同消纳策略  
..... 郝俱哈, 裘智峰, 曹胡辉, 向劲勇, 桂卫华 (2590)



· 电力系统 ·

- 电网社区结构发现方法及其应用综述  
.....魏震波, 关翔友, 刘梁豪 (2600)
- 高频半波长输电系统及其经济性分析 ..... 谢琦, 王杨, 肖先勇 (2610)
- 基于场景分区的半不变量法概率电压稳定评估  
.....周艳, 赵晋泉, 胡晓飞, 杨斌, 马世英, 许鹏飞, 包严 (2617)
- 基于状态空间转换的 SCADA 系统支路静态参数局部辨识方法  
..... 张海波, 刁智伟 (2624)
- 利用发电机转速实时识别两群暂态功角失稳  
..... 王志文, 孙华东, 易俊, 赵兵, 徐式蕴 (2634)
- 2019CIGRE 成都国际研讨会配电技术报道  
..... 苏剑, 尚宇炜, 马钊, 李鹏丽, 王辉 (2642)
- 含柔性多状态开关的配电网分布式自适应控制  
..... 张今, 耿光超, 江全元, 杨勇, 周自强 (2649)
- 基于双电压互感器的中性点不接地配电网对地参数实时测量新技术  
..... 卓超, 曾祥君, 喻银, 陈磊, 陈艳霞, 向国杰 (2657)
- 考虑电热耦合影响的牵引网潮流计算方法  
..... 孙立军, 脱长军, 田铭兴, 徐金阳, 潘存磊 (2665)
- 考虑机组穿越振动区风险的水电站 AGC 日前经济负荷分配策略研究  
..... 余意, 伍永刚, 刘兴龙 (2673)
- 基于桥臂伏秒积平均反馈的逆变器及其并联系统直流分量抑制  
..... 林燎源, 戴宇杰, 朱铠 (2683)
- 三相 SPWM 混合调制 Boost 集成式光伏逆变器  
..... 尹铭, 秦岭, 胡茂, 罗松, 王亚芳, 周磊, 段冰莹 (2691)
- 采用二值开关电阻的 MMC 等效模型在阀内故障仿真中的适用性  
..... 丁江萍, 樊强, 林畅, 闫鹤鸣, 冯谟可, 许建中, 赵成勇 (2701)

· 自动化 ·

- 基于行波调谐能量的高压直流线路纵联保护  
..... 戴志辉, 张程, 何永兴, 刘自强 (2710)
- 基于有限 $\mu$ PMU 的主动配电网故障定位方法  
..... 张健磊, 高湛军, 王志远, 孙旭日, 张松, 李文升, 魏振 (2722)
- 主动配电网故障恢复的重构与孤岛划分统一模型  
..... 汤一达, 吴志, 顾伟, 余鹏, 杜进桥, 罗欣儿 (2731)
- 柔性直流配电系统故障后快速恢复方法研究  
..... 王聪博, 贾科, 毕天姝, 冯涛 (2738)
- 配电网地理电缆载波信道模型及影响因素分析  
..... 王艳, 李永亮, 赵洪山, 王阳 (2745)

· 高电压技术 ·

- 特高压 GIL 哑铃型三支柱绝缘子优化设计方法  
..... 吴泽华, 田汇冬, 王浩然, 刘丽岚, 郭子豪, 刘鹏, 彭宗仁 (2754)
- 基于 Hankel 矩阵和奇异值分解的局部放电窄带干扰抑制方法  
..... 徐永干, 姜杰, 唐昆明, 张太勤, 罗建, 谢敏 (2762)
- 联合 NDIR 技术与灰色系统 OBGM(1,N)模型的高压组合电器 SF<sub>6</sub>分解产物时间序列测量与预测 ..... 张施令, 姚强 (2770)
- 基于粒子群优化-长短期记忆网络模型的变压器油中溶解气体浓度预测方法 ..... 刘可真, 苟家琪, 骆钊, 王科, 徐肖伟, 赵勇军 (2778)
- 电缆线路中操作过电压主导频率的确定方法  
..... 李嘉明, 陈曦, 郝一帆, 邓军波, 张冠军 (2785)
- 脉冲电压作用下晶闸管反向恢复期损伤效应与机理分析  
..... 岳珂, 庞磊, 陈炫宇, 叶明天, 张乔根, 陶风波 (2794)

《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 7 期 (总第 440 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 焯 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: 京海市监广登字 20170131 号

# POWER SYSTEM TECHNOLOGY

2020, Vol. 44 No. 7 (Ser. 440)

## Contents

### • Special Paper •

**Key Issues of National Unified Electricity Market With Chinese Characteristics (1): Enlightenment, Comparison and Suggestions From Foreign Countries**..... DING Yi, XIE Kai, PANG Bo, LI Zhu, GUO Libang (2401)  
**Application of Data-driven Technology in Virtual Power Plant**

..... LI Zhaoyu, AI Qian, ZHANG Yufan, YIN Shuangrui, SUN Donglei, LI Xueliang (2411)

### • Artificial Intelligence Technology Application in New Generation Power System and Energy Internet •

**Data Assets Governance and Related Key Issues for Energy Internet Based on Data Curation Theory**  
..... ZENG Ming, XU Yanbin, WANG Shengyan, FANG Cheng, DONG Houqi, SHEN Liang (2420)

**Data Driven Assessment of Distributed Photovoltaic Hosting Capacity in Distribution Network**  
..... LIANG Zhifeng, XIA Junrong, SUN Mengmeng, ZHOU Chang (2430)

**Electric Vehicle Fast Charging Demand Forecasting Model Based on Data-driven Approach and Human Behavior Decision-making**  
..... XING Qiang, YANG Qiming, FAN Juntai, ZHANG Qingqing, CHEN Zhong, ZHANG Ziqi, HUANG Xueliang, WANG Ruisheng (2439)

**Optimization of On-load Adjustable Capacity Transformer Operation Mode Based on Attention-LSTM**  
..... YANG Jingliang, QI Linhai, TAO Shun, WANG Hong (2449)

### • Energy Internet •

**Dynamic Environmental Economic and Collaborative Flexibility Dispatch of Integrated Power, Heat and Natural Gas Energy System** .....ZHONG Yongjie, SUN Yonghui, WANG Tinghua, XU Zhou, WANG Jianxi, XIONG Junjie, ZHU Xiaojun (2457)

**Day-ahead Optimal Dispatch of an Integrated Energy System Considering Multiple Uncertainty**  
..... ZHOU Xingqiu, ZHENG Lingwei, YANG Lan, QIU Qi (2466)

**Source-load Coordination Economic Dispatch Method for Regional Integrated Energy System Considering Wind Power Accommodation** ..... CUI Yang, JIANG Tao, ZHONG Wuzhi, CUI Chengwei, ZHAO Yuting (2474)

**Optimal Dispatch Model of Biogas-wind-solar Isolated Multi-energy Micro-grid Based on Thermal Energy Flow Analysis of Buildings**..... TAN Hong, YAN Wei, WANG Hao (2483)

**Reserve Optimization for Offline Multi-energy Complementary Generation System in Short Time Scale**  
..... JIANG Wanxiao, LIU Jichun, HAN Xiaoyan, DING Lijie, HU Can, YANG Fang, PENG Yuxiang, FENG Qiming (2492)

**Research on Optimal Configuration of Concentrating Solar Power Based on Individual Optimization and Multi-energy Complementary** ..... LIU Shuhua, WANG Jianxue, QIN Xuwu, CAO Xiaoyu, LI Qingtao (2503)

**Dynamic Frequency Constraint Unit Commitment in Large-scale Wind Power Grid Connection**  
..... WANG Bo, YANG Deyou, CAI Guowei (2513)

**Power Dispatching Tracking of Large-inertia Wind Turbine Under Full Operating Conditions Based on Predictive Control**  
..... WANG Huipan, LIU Jizhen, HU Yang, WANG Kun (2520)

**Day-ahead Wind Power Probabilistic Forecast Considering Conditional Dependency and Temporal Correlation**  
..... QIAO Ying, LU Zongxiang, WU Wenzu (2529)

**Virtual Power Plants Providing AGC FM Service Considering Uncertainty of Electric Vehicles**  
..... YUAN Guili, SU Weifang (2538)

**DFT-based Intelligent Park Central Air-conditioning Regulation Strategy**..... LI Bin, LI Zhineng, CHEN Biyun (2549)

### • Electricity Market •

**Analysis of the Market Regulation Measures of Social Welfare in Cross-provincial Power Trading Considering Both Efficiency and Fairness**..... CHEN Zheng (2558)

**Design of Coordination and Balance Mechanism Between National Green Power Certificate Trading Market and Provincial Day-ahead Power Market** ..... PENG Qian, ZHOU Xiaojie, YANG Rui (2565)

**Multilateral Trading Electricity Price Mechanism Based on Distributed Power Generation Module Interconnection**  
..... XIONG Xiaoping, LI Hang, LI Ning (2572)

**Crediting Management in the Electricity Market**  
..... XU Hong, LIN Xin, ZHU Ce, MI Yunhui, WANG Linyan, ZHANG Hong, ZHANG Lizhi (2582)

**Multi-level Market-driven Coordination Strategy for Wind Power Accommodation**  
..... HAO Qihan, QIU Zhifeng, CAO Huhui, XIANG Jinyong, GUI Weihua (2590)

### • Power System •

**Overview of Power Community Structure Discovery Algorithms and Their Application in Power Grid Analysis**  
..... WEI Zhenbo, GUAN Xiangyou, LIU Lianghao (2600)

**High-frequency Half-wavelength Transmission System and Its Economic Analysis**..... XIE Qi, WANG Yang, XIAO Xianyong (2610)

**Probabilistic Voltage Stability Assessment Using Scenario Partition Based Cumulant Method**  
..... ZHOU Yan, ZHAO Jinquan, HU Xiaofei, YANG Cheng, MA Shiying, XU Pengfei, BAO Yan (2617)

---

<b>Local Area Identification of Static Branch Parameters Based on State Space Transformation in SCADA System</b>	ZHANG Haibo, DIAO Zhiwei (2624)
<b>Real-time Identification of Transient Angle Instability in Two Machine Groups Using Angular Velocities</b>	WANG Zhiwen, SUN Huadong, YI Jun, ZHAO Bing, XU Shiyun (2634)
<b>Technical Review of Power Distribution Technologies in CIGRE Chengdu 2019 Symposium</b>	SU Jian, SHANG Yuwei, MA Zhao, LI Pengli, WANG Hui (2642)
<b>Distributed Adaptive Control for Distribution Network With Flexible Multi-state Switches</b>	ZHANG Jin, GENG Guangchao, JIANG Quanyuan, YANG Yong, ZHOU Ziqiang (2649)
<b>A Novel Real-time Measurement Technique of Grounded Parameters of Dual Voltage Transformers in Neutral Point Ungrounded Distribution Networks</b>	ZHUO Chao, ZENG Xiangjun, YU Kun, CHEN Lei, CHEN Yanxia, XIANG Guojie (2657)
<b>Power Flow Calculation Method of Traction Network Considering the Influence of Electro-thermal Coupling</b>	SUN Lijun, TUO Changjun, TIAN Mingxing, XU Jinyang, PAN Cunlei (2665)
<b>Study on Daily Economic Load Distribution Strategy of Hydropower Station AGC Based on Risk Control of Unit Crossing Vibration Zone</b>	YU Yi, WU Yonggang, LIU Xinglong (2673)
<b>DC Components Suppression for Single and Paralleled Inverters Based on Feedback of Average Volt-second Product of Bridge Arm</b>	LIN Liaoyuan, DAI Yujie, ZHU Kai (2683)
<b>Boost-integrated Photovoltaic Inverter With Three-phase SPWM Hybrid Modulation</b>	YIN Ming, QIN Ling, HU Mao, LUO Song, WANG Yafang, ZHOU Lei, DUAN Bingying (2691)
<b>Applicability of MMC Equivalent Model Based on Two-value Switched Resistance in Internal Valve Fault Simulation</b>	DING Jiangping, FAN Qiang, LIN Chang, YAN Heming, FENG Moke, XU Jianzhong, ZHAO Chengyong (2701)
<b>• Automation •</b>	
<b>Pilot Protection Based on Traveling Wave Tuning Energy for HVDC Transmission Lines</b>	DAI Zhihui, ZHANG Cheng, HE Yongxing, LIU Ziqiang (2710)
<b>Fault Location Method for Active Distribution Based on Finite <math>\mu</math>PMU</b>	ZHANG Jianlei, GAO Zhanjun, WANG Zhiyuan, SUN Xuri, ZHANG Song, LI Wensheng, WEI Zhen (2722)
<b>Research on Active Distribution Network Fault Recovery Strategy Based on Unified Model Considering Reconstruction and Island Partition</b>	TANG Yida, WU Zhi, GU Wei, YU Peng, DU Jinqiao, LUO Xiner (2731)
<b>Research on Fast Recovery Method After Fault for Multi-terminal Flexible DC Distribution System</b>	WANG Congbo, JIA Ke, BI Tianshu, FENG Tao (2738)
<b>Carrier Channel Model and Analysis of Influencing Factors of Buried Cables in Distribution Network</b>	WANG Yan, LI Yongliang, ZHAO Hongshan, WANG Yang (2745)
<b>• High Voltages •</b>	
<b>Optimization Design Method for UHVAC GIL Dumbbell Type Tri-post Insulators</b>	WU Zehua, TIAN Huidong, WANG Haoran, LIU Lilan, GUO Zihao, LIU Peng, PENG Zongren (2754)
<b>A Method of Suppressing Narrow-band Interference in Partial Discharge Based on Hankel Matrix and Singular Value Decomposition</b>	XU Yonggan, JIANG Jie, TANG Kunming, ZHANG Taiqin, LUO Jian, XIE Min (2762)
<b>Time Series Measurement and Prediction of SF<sub>6</sub> Decomposition Products of High Voltage Switch-gear Combined NDIR Technology and Grey System OBG<sub>M</sub> (1, N) Model</b>	ZHANG Shiling, YAO Qiang (2770)
<b>Prediction of Dissolved Gas Concentration in Transformer Oil Based on PSO-LSTM Model</b>	LIU Kezhen, GOU Jiaqi, LUO Zhao, WANG Ke, XU Xiaowei, ZHAO Yongjun (2778)
<b>Study on Dominant Frequency Determination of Switching Overvoltage in Cable Line</b>	LI Jiaming, CHEN Xi, HAO Yifan, DENG Junbo, ZHANG Guanjun (2785)
<b>Damage Effect and Mechanism Analysis of Thyristor Induced by Pulse Voltage in Reverse Recovery Period</b>	YUE Ke, PANG Lei, CHEN Xuanyu, YE Mingtian, ZHANG Qiaogen, TAO Fengbo (2794)

---

**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