

电网技术

POWER SYSTEM TECHNOLOGY

3

2021

第45卷3期

Vol.45 No.3



需高灵敏度、高可靠性小电流接地保护，选赫兹曼科技！

防森林、草原、电缆沟道火灾，选赫兹曼科技！

防导线断线伤人，选赫兹曼科技！

高精度小电流接地故障检测技术

产品优势

- 只需取样三相 CT 电流，无需 PT 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
- 10000欧姆及以下高阻接地故障检测，检测准确率高达98%（通过国网漯河真型试验站检测）
- 有效检测间歇性弧光接地故障

选型配置

- IPC 接地保护装置
- IPS2 基础型 环网柜型
- FTU系列
- HMED-P系列 变电站型



IPC 4020/4022



IPS2 基础型
(环网柜型)



FTU系列



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“相电流法”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“相电流法”小电流接地故障检测装置投入运行（见“辽宁电网”公众号2019年6月13日）



广东赫兹曼科技有限公司

地址：广东省佛山市顺德区保利中悦1601室

联系人：高尚

联系电话：13904016817

请添加赫兹曼科技
了解更多资讯 →



ISSN 1000-3673



9 771000 367219

万方数据



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

· 高比例可再生能源并网 ·

大规模风电并网的评估指标体系构建与应用

.....施贵荣, 孙荣富, 丁华杰, 徐海翔, 丁然, 王靖然, 王若阳 (841)

基于风险价值的大规模风电并网电力系统运行风险评估

.....马燕峰, 杨小款, 王子建, 董凌, 赵书强, 蔡永青 (849)

基于 CEEMD-SBO-LSSVR 的超短期风电功率组合预测

.....周小麟, 童晓阳 (855)

计及风电一次调频和频率约束的风电占比极限值计算

.....刘福锁, 卿梦琪, 唐飞, 刘涤尘, 肖国城 (863)

梯级水光蓄互补发电系统实时协调控制策略

.....王子伊, 王玮, 马伟, 陈哲, 吴学智, 唐芬 (871)

平抑风光联合系统短期出力波动的光热电站储热系统优化运行策略

.....韦子瑜, 赵书强, 方宇晨 (881)

直驱波浪发电系统双扰动观察算法 MPPT 控制

.....谭绮仪, 杨俊华, 黄宝洲, 陈志场 (892)

考虑运行环境成本的新能源合理利用率

.....董昱, 梁志峰, 礼晓飞, 王帅, 李庆, 黄越辉 (900)

考虑储能变流器容量限制的电网低频振荡抑制策略

.....李明贤, 熊连松, 唐震, 郝捷 (908)

含 SVG 的双馈系统切换型次同步振荡及其非光滑分岔特性分析

.....薛安成, 王永杰, 付潇宇, 乔登科, 王子哲 (918)

基于并网电流反馈的新型有源阻尼方法

.....林盛超, 熊健, 贺诗明, 邱增广 (926)

· 能源互联网 ·

可再生能源多能互补热电气联产系统评价方法综述

.....王庆刚, 杨谋存, 朱跃钊, 周钰婕, 雷建宏, 龚涛 (937)

考虑设备变工况特性的区域综合能源系统优化调度方法

.....陈晚晴, 穆云飞, 贾宏杰, 魏炜, 何伟 (951)

综合考虑自然灾害与人为攻击的电-气互联系统优化配置方法

.....黄格超, 李更丰, 肖遥, 别朝红, 孙思源 (959)

计及天然气管网压力能消纳的充电设施优化规划

.....张安安, 邓靓, 杨威, 李茜, 曲广龙 (970)

基于图强化学习的电力交通耦合网络快速充电需求引导研究

.....袁红霞, 张俊, 许沛东, 方舟 (979)

考虑 EV 集群时序灵活性的分布式能源协同优化

.....张丙旭, 许刚, 张毓华 (987)

多元化绿色交易体系下直流微电网优化配置方法

.....吕宇桦, 杨革, 陈锦涛, 陈滢, 曾凯林 (997)

基于荷电状态的直流微电网中多储能分级运行控制方法

.....郑丽君, 王子鹏, 吕世轩, 宋建成, 田慕琴 (1006)

基于天气信息的短期冷热电负荷联合预测方法

.....马得银, 孙波, 刘澈 (1015)

基于云图特征自识别的光伏超短期预测模型

.....柴国康, 夏飞, 张浩, 陆剑峰, 崔承刚, 马波 (1023)

· 电力市场 ·

含灵活性资源交易的电力市场实时出清

.....钟佳宇, 陈皓勇, 陈武涛, 黄剑平 (1032)

电动汽车聚合商参与调频备用的调度方法与收益分成机制
..... 吴洲洋, 艾欣, 胡俊杰 (1041)
基于有限理性用户选择行为的定制化电价套餐设计
..... 肖白, 崔涵淇, 姜卓, 赵棚, 孙立国 (1050)
采用历史数据扩充方法的风力发电量月度预测
..... 唱友义, 孙赫阳, 顾泰宇, 杜维春, 王漪, 李卫东 (1059)
基于信息交流机制的经济负荷分配优化算法 肖子雅, 刘升 (1068)

· 电力系统 ·

巴西“3.21”大停电后电网恢复情况分析 常忠蛟, 刘云 (1078)
计及 VSC 运行约束的交直流混合配电网分布式优化调度方法
..... 刘晓林, 王旭, 蒋传文, 龚开, 熊展 (1089)
中压直流综合电力系统建模与实时仿真实现方法
..... 郝晓亮, 付立军, 马凡, 刘鲁锋, 肖润龙 (1100)
考虑负荷最大概率分布与故障风险的配电变压器优选方法
..... 陈磊, 姜飞, 涂春鸣 (1109)
考虑时序趋势分析的周期性谐波异常识别
..... 张逸, 姚文旭, 王康, 邵振国, 林芳 (1117)
基于功率跟踪目标函数定频模型预测控制的三相 PWM 整流器
..... 杨兴武, 杨帅, 王涛, 徐依明, 李豪, 于艾清 (1125)
电力机车单相 PWM 整流器 μ 综合直接电流控制
..... 刘浩然, 马磊, 彭林, 宋文胜, 程少昆 (1132)
一种新型高效的多功能 Buck/Boost/Buckboost 型功率因数校正电路
..... 刘斌, 李伦全, 叶昌, 李俊 (1142)
超导电力设备中 YBCO 超导带材不均匀性对载流特性的影响
..... 谭亚雄, 文明乾, 周凛, 罗书山, 潘家骏 (1150)

· 自动化 ·

基于系统拓扑动态调整的短路电流限制方法研究
..... 韩彬, 陈维江, 常乃超, 金玉琪, 郑鑫, 韩奕, 朱炳铨, 谭盛武, 余越, 张静, 王文博, 赵泽昕 (1158)
直流配电系统阻抗判据与导纳判据的比较分析
..... 张辉, 朱刘柱, 潘鹏鹏, 陈武 (1167)
基于场景建模的电力巡检异物检测样本扩充方法
..... 孙慧, 李喆, 江一, 赵航航, 顾超越, 史晋涛, 盛戈峰, 江秀臣 (1175)
一种电动汽车动态无线充电的负载检测方法及轨切换策略
..... 郭敏, 肖静, 吴宁, 祝文姬, 冯玉斌, 李克文 (1181)

· 高电压技术 ·

串联谐振下电缆局部放电的双传感器检测技术
..... 叶彬, 周凯, 黄永禄, 汪先进, 李泽瑞 (1188)
电压上升率对 GIS 绝缘缺陷击穿特性的影响
..... 梁成军, 刘轩东, 张玲俐, 张明康 (1195)
水珠对复合绝缘子表面电场畸变特性的影响
..... 吕玉坤, 王佳文, 宋庆壮, 刘云鹏 (1201)
35 kV 线路用自灭弧防雷间隙及工频续流遮断试验
..... 王巨丰, 黄上师, 韩力, 闫仁宝, 徐宇恒 (1208)

· 工程应用 ·

混合级联特高压直流输电系统方案设计及动模试验验证
..... 刘泽洪, 马为民, 王绍武, 种芝艺, 黄勇, 郭贤珊, 张进, 乐波, 田杰, 肖鲲, 许冬, 刘杉 (1214)
巴西美丽山两回特高压直流工程互用接地极的控制保护策略研究
..... 张云晓, 蒲莹, 卢亚军, 宫勤, 吴方劼 (1223)
柔性直流换流站断面失电过电压机理与抑制方法研究
..... 郭铭群, 苑宾, 郑宽 (1231)

· 广告索引 · (1240)

《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 3 期 (总第 448 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: $\frac{\text{ISSN } 1000-3673}{\text{CN } 11-2410/\text{TM}}$

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 * 399 * zh * P * ¥80.00 * 20000 * 46 * 2021-3 版权所有 未经许可不得转载及上网

POWER SYSTEM TECHNOLOGY

2021, Vol. 45 No. 3 (Ser. 448)

Contents

• High Share of Renewable Energy Integration •

Construction and Application on Evaluation Index System of Large-scale Wind Power Integration	SHI Guirong, SUN Rongfu, DING Huajie, XU Haixiang, DING Ran, WANG Jingran, WANG Ruoyang (841)
Operation Risk Assessment for Power System With Large-scale Wind Power Integration Based on Value at Risk	MA Yanfeng, YANG Xiaokuan, WANG Zijian, DONG Ling, ZHAO Shuqiang, CAI Yongqing (849)
Ultra-short-term Wind Power Combined Prediction Based on CEEMD-SBO-LSSVR	ZHOU Xiaolin, TONG Xiaoyang (855)
Limit Proportion Calculation of Wind Power Considering Primary Frequency Modulation and Frequency Constraints	LIU Fusuo, QING Mengqi, TANG Fei, LIU Dichen, XIAO Gucheng (863)
Real-time Coordinated Control for Cascade Hydro-photovoltaic-pumped Storage Complementary Generation System	WANG Ziyi, WANG Wei, MA Wei, CHEN Zhe, WU Xuezhai, TANG Fen (871)
Optimal Operation Strategy of Thermal Energy Storage System Within CSP to Suppress Short-term Fluctuation of Wind-CSP Hybrid Power Generation System	WEI Ziyu, ZHAO Shuqiang, FANG Yuchen (881)
MPPT Control of Direct-drive Wave Power Generation System Based on Double Disturbances Observation Algorithm	TAN Qiyi, YANG Junhua, HUANG Baozhou, CHEN Zhiyang (892)
Reasonable Utilization Rate of Renewable Energy Considering Operational Environmental Cost	DONG Yu, LIANG Zhifeng, LI Xiaofei, WANG Shuai, LI Qing, HUANG Yuehui (900)
Suppression Strategy for Low Frequency Oscillations of Power Grid Considering ESS Converter Capacity Limit	LI Mingxian, XIONG Liansong, TANG Zhen, HAO Jie (908)
Analysis of Switched Subsynchronous Oscillation and Its Non-smooth Bifurcation Characteristics in Doubly-fed System With SVG	XUE Ancheng, WANG Yongjie, FU Xiaoyu, QIAO Dengke, WANG Zizhe (918)
New Active Damping Method Based on Grid Current Feedback	LIN Shengchao, XIONG Jian, HE Shiming, QIU Zengguang (926)

• Energy Internet •

Review on Evaluation Methods of Combined Heating, Power and Biogas System Coupled With Renewable Energy	WANG Qinggang, YANG Moucun, ZHU Yuezhao, ZHOU Yujie, LEI Jianhong, GONG Tao (937)
Operation Optimization Method for Regional Integrated Energy System Considering Part-load Performances of Devices	CHEN Wanqing, MU Yunfei, JIA Hongjie, WEI Wei, HE Wei (951)
Optimal Placement for Integrated Electricity and Gas Energy System Considering Natural Disasters and Man-made Attacks	HUANG Gechao, LI Gengfeng, XIAO Yao, BIE Zhaozhong, SUN Siyuan (959)
Optimal Planning of Charging Facilities Considering Natural Gas Pressure Energy Utilization	ZHANG An'an, DENG Liang, YANG Wei, LI Qian, QU Guanglong (970)
Fast Charging Demand Guidance in Coupled Power-transportation Networks Based on Graph Reinforcement Learning	YUAN Hongxia, ZHANG Jun, XU Peidong, FANG Zhou (979)
Distributed Energy Collaborative Optimization Considering Temporal Flexibility of EV Cluster	ZHANG Bingxu, XU Gang, ZHANG Xiaohua (987)
Optimized Configuration of DC Microgrid Under Diversified Green Trading System	LÜ Yuhua, YANG Ping, CHEN Jintao, CHEN Ying, ZENG Kailin (997)
Hierarchical Operation Control of Multi-energy Storage in DC Microgrid Based on State of Charge	ZHENG Lijun, WANG Zipeng, LÜ Shixuan, SONG Jiancheng, TIAN Muqin (1006)
Short-term Cooling and Heating Power Load Prediction Method Based on Multi-weather Information	MA Deyin, SUN Bo, LIU Che (1015)
Ultra-short-term Prediction of Self-identifying Photovoltaic Based on Sky Cloud Chart	CHAI Minkang, XIA Fei, ZHANG Hao, LU Jianfeng, CUI Chenggang, MA Bo (1023)

• Electricity Market •

Real-time Clearing of Electricity Markets With Flexible Resource Transactions	ZHONG Jiayu, CHEN Haoyong, CHEN Wutao, HUANG Jianping (1032)
Dispatching and Income Distributing of Electric Vehicle Aggregators' Participation in Frequency Regulation	WU Zhouyang, AI Xin, HU Junjie (1041)
Customized Electricity Price Package Design Based on Limited Rational User Selection Behavior	XIAO Bai, CUI Hanqi, JIANG Zhuo, ZHAO Xu, SUN Liguo (1050)
Monthly Forecast of Wind Power Generation Using Historical Data Expansion Method	CHANG Youyi, SUN Heyang, GU Taiyu, DU Weichun, WANG Yi, LI Weidong (1059)
Optimization Algorithm Based on Information Exchange Mechanism for Power Economic Load Dispatch Problem	XIAO Ziya, LIU Sheng (1068)

• Power System •

- Analysis on Brazilian Power Grid Restoration After “March 21” Blackout**CHANG Zhongjiao, LIU Yun (1078)
- Distributed Optimal Scheduling of Hybrid AC-DC Distribution Grid Considering VSC Operation Constraints**
.....LIU Xiaolin, WANG Xu, JIANG Chuanwen, GONG Kai, XIONG Zhan (1089)
- Modeling and Real-time Simulation of MVDC Integrated Power System**HAO Xiaoliang, FU Lijun, MA Fan, LIU Lufeng, XIAO Runlong (1100)
- Optimal Selection Method of Distribution Transformer Considering Maximum Probability Distribution Characteristics and Fault Risk**
.....CHEN Lei, JIANG Fei, TU Chunming (1109)
- Periodic Harmonic Anomaly Recognition Considering Time Series Trend Analysis**
.....ZHANG Yi, YAO Wenxu, WANG Kang, SHAO Zhenguo, LIN Fang (1117)
- Three Phase PWM Rectifier Under Constant-frequency Model Predictive Control Based on Power Tracking Objective Function**
.....YANG Xingwu, YANG Shuai, WANG Tao, XU Yiming, LI Hao, YU Aiqing (1125)
- μ -synthesis Direct Current Control of Single-phase PWM Rectifier for Electric Locomotive**
.....LIU Haoran, MA Lei, PENG Lin, SONG Wensheng, CHENG Shaokun (1132)
- A New Hi-efficiency Multifunctional Buck/Boost/Buckboost-type PFC Circuit**.....LIU Bin, LI Lunquan, YE Chang, LI Jun (1142)
- Influence of Inhomogeneity of YBCO Superconducting Tape on Current Carrying Characteristics in Superconductive Electrical Equipment**
.....TAN Yaxiong, WEN Mingqian, ZHOU Quan, LUO Shushan, PAN Jiajun (1150)

• Automation •

- Short-circuit Current Limitation Based on Dynamic Adjustment of System Topology**
.....HAN Bin, CHEN Weijiang, CHANG Naichao, JIN Yuqi, QIE Xin, HAN Yi, ZHU Bingquan, TAN Shengwu, YU Yue, ZHANG Jing, WANG Wenbo, ZHAO Zexin (1158)
- Comparison Between Impedance-based Criterion and Admittance-based Criterion for the DC Distribution Power System**
.....ZHANG Hui, ZHU Liuzhu, PAN Pengpeng, CHEN Wu (1167)
- Data Augmentation of Foreign Object Detection Based on Context Modeling in Power Inspection**
.....SUN Hui, LI Zhe, JIANG Yi, ZHAO Hanghang, GU Chaoyue, SHI Jintao, SHENG Gehao, JIANG Xiuchen (1175)
- Load Detection Method and Rail Switching Strategy for Dynamic Wireless Charging of Electric Vehicles**
.....GUO Min, XIAO Jing, WU Ning, ZHU Wenji, FENG Yubin, LI Kewen (1181)

• High Voltages •

- Two-sensor Detection Technology of Partial Discharge for Cable Under Series Resonance**
.....YE Bin, ZHOU Kai, HUANG Yonglu, WANG Xianjin, LI Zerui (1188)
- Effect of Voltage Rising Rate on Breakdown Characteristics of GIS Insulation Defects**
.....LIANG Chengjun, LIU Xuandong, ZHANG Lingli, ZHANG Mingkang (1195)
- Effect of Water Drop on Electric Field Distortion of Composite Insulator**.....LÜ Yukun, WANG Jiawen, SONG Qingzhuang, LIU Yunpeng (1201)
- Study on Power Frequency Follow Current Interruption Test of Self Arc-extinguishing Lightning Protection Gap in 35 kV Distribution Lines**
.....WANG Jufeng, HUANG Shangshi, HAN Li, YAN Renbao, XU Yuheng (1208)

• Engineering Applications •

- Schematic Design of Hybrid Cascaded Ultra HVDC and Its Modification in Dynamic Model Experiment**
.....LIU Zehong, MA Weimin, WANG Shaowu, CHONG Zhiyi, HUANG Yong, GUO Xianshan, ZHANG Jin, YUE Bo, TIAN Jie, XIAO Kun, XU Dong, LIU Shan (1214)
- Control and Protection Strategy on Electrode as Mutual Standby of the Two Belo Monte HVDC Projects in Brazil**
.....ZHANG Yunxiao, PU Ying, LU Yajun, GONG Xun, WU Fangjie (1223)
- Overvoltage Mechanism Caused by MMC Section Power Loss and Its Suppression Method**.....GUO Mingqun, YUAN Bin, ZHENG Kuan (1231)

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