

电网技术

POWER SYSTEM TECHNOLOGY



第41卷4期
Vol.41 No.4



热烈祝贺 桂容谐平

“10kV智能配网串联补偿装置”

成功入选国家电网公司新技术推广应用目录

- 基于晶闸管保护方案，响应速度明显高于常规快速开关
- 荣获国家专利（专利号：ZL201320751287.2）
- 在浙江、福建、广东、贵州、湖南、新疆、内蒙古等地已有数十套成功运行案例
- 率先通过中电联新产品鉴定（证书编号：中电联鉴字〔2015〕第62号），性能指标达到国际先进水平



浙江桂容谐平科技有限责任公司

地址：浙江省杭州市余杭区余杭塘路2630号

邮编：311121

电话：0571-89987188

传真：0571-89987533

网址：www.zjgrxp.com

ISSN 1000-3673



9 771000 367172
万方数据



国家电网公司 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 汪矸生
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

· 大规模新能源并网系统振荡稳定性及安全运行 (特约专题主编 李明节、谢小荣) ·

新能源并网系统引发的复杂振荡问题及其对策研究

.....李明节, 于钊, 许涛, 贺静波, 王超, 谢小荣, 刘纯 (1035)

电力系统次同步谐振/振荡的形态分析

.....谢小荣, 王路平, 贺静波, 刘华坤, 王超, 占颖 (1043)

大规模风电场并网系统次同步振荡研究综述

.....王伟胜, 张冲, 何国庆, 李光辉, 张剑云, 汪海蛟 (1050)

并网逆变器复合电流环引起次/超同步振荡机理研究

.....王晖, 李莹, 李文锋, 王超, 刘明松, 杨大业 (1061)

风光储联合电站有功控制的响应迟滞“拖尾现象”分析与改进

.....武晗, 鲁宗相, 白恺, 刘汉民, 吴林林, 乔颖 (1068)

RSC 扰动分量与转差频率耦合引起的 DFIG 定子间谐波电流解析模型

.....廖坤玉, 陶顺, 姚黎婷, 肖湘宁, 杨琳, 贺静波 (1076)

高风电渗透率下的自适应低频减载策略研究

.....李顺, 廖清芬, 唐飞, 赵红生, 邵尤国 (1084)

双馈风机下垂控制对系统小扰动功角稳定的影响机理分析

.....王清, 薛安成, 张晓佳, 沈卫刚 (1091)

· 直流输电与直流电网 (特约专题主编 汤广福) ·

特高压交流和直流输电系统可靠性与经济性比较

.....彭吕斌, 何剑, 谢开贵, 汤涌, 胡博, 易俊, 李江山, 贺庆 (1098)

适用于直流电网的 LCL 谐振式模块化多电平 DC/DC 变换器

.....王新颖, 汤广福, 魏晓光, 马春艳, 高阳, 肖湘宁 (1106)

特高压直流输电线路内过电压仿真及机理分析

.....董鹏, 朱艺颖, 习工伟, 王薇薇, 刘翀, 胡涛, 黄少锋 (1114)

· 主动配电网关键技术研究及示范

(特约专题主编 刘俊勇、刘广一) ·

基于 Fourier-Legendre 级数展开的主动配电网储能容量优化

.....韩为超, 刘俊勇, 刘友波, 向月, 杨嘉澍, 陈龙, 李斌 (1123)

基于面板数据有序聚类的主动配电网规划场景降维技术

.....刘洁颖, 刘俊勇, 黄媛, 刘友波, 高红均, 庄丹, 马铁丰 (1132)

基于历史数据挖掘的配电网态势感知方法

.....黄蔓云, 卫志农, 孙国强, 臧海洋, 黄强 (1139)

· 电力系统 ·

交直流柔性协调控制在华中电网的应用

.....邵德军, 徐友平, 赵兵, 奚江惠, 潘晓杰, 吴萍, 刘长义, 等 (1146)

华北电网蒙西外送通道广域阻尼控制系统研究

.....梁浩, 江长明, 赵峰, 谢欢, 徐英, 贾琳, 高洵 (1152)

交直流混合电网的多智能体自律分散控制

.....高扬, 艾芊, 郝然, 张昭丞, Muhammad Yousif (1158)

随机矩阵理论在电力系统认知中的应用初探

.....贺兴, 艾芊, 邱才明, 章健, 徐心怡 (1165)

基于改进 EEAC 法的随机复杂多机系统的暂态稳定性分析

.....黄通, 王杰 (1174)

几种高阶收敛的 Levenberg-Marquardt 方法在潮流计算中的应用

.....曹佳, 徐潇源, 严正, 李禹鹏, 杨增辉, 冯楠 (1181)

用于电力系统暂态稳定预测的支持向量机组合分类器及其可信度评价

.....周艳真, 吴俊勇, 于之虹, 冀鲁豫, 郝亮亮 (1188)

频变输电线路模型中的低阶拟合方法
 刘俊, 郭瑾程, 魏占宏, 方万良, 侯俊贤, 项祖涛 (1197)

考虑高压配网接线方式的综合电网可靠性评估
 和敬涵, 邓晓洋, 苗友忠, 罗玮, 雷为民, 张沛, 王小君 (1204)

基于模糊理论的计及元件危险性因子的 N-2 故障快速筛选法
 丁坚勇, 朱天瞳, 田世明, 周凯, 潘明明 (1212)

基于幂迭代的电力系统模态谐振快速求解方法
 李朝阳, 胡海涛, 周毅, 何正友 (1218)

基于泰勒级数的 PV 曲线求取及参变量选择分析
 吴成业, 刘光晔, 罗经纬 (1225)

计及空调负荷群控制的源-荷协同优化调度模型
 刘萌, 梁雯, 张岩, 刘杰, 李宽 (1230)

基于推挽正激交变换器的三相三线无功和谐波综合补偿装置分析
 师贺, 李磊, 管月, 马爱华, 郭健 (1237)

· 低碳电力技术 (特约专题主编 康重庆) ·

含 V2G 的虚拟电厂双层逆鲁棒优化调度策略
 卢志刚, 王荟敬, 赵号, 冯慧波 (1245)

计及预测功率的含储能风场群优化调控方法
 王成福, 李熙娟, 梁军, 韩学山, 李广磊 (1253)

考虑经济性的日前风电消纳动态评估方法
 李宏仲, 吕振邦, 朱佳明, 孙伟卿 (1261)

基于一致性协议的多微网协调控制
 何红玉, 范丽, 韩蓓, 李国杰, 刘召杰 (1269)

含虚拟同步发电机的光/柴/储独立微网控制策略
 林岩, 张建成 (1277)

基于状态跟随器的微电网平滑切换研究
 田梁玉, 唐忠, 田晨, 朱瑞婷 (1285)

基于三相四桥臂逆变器的虚拟同步发电机分序控制策略
 张鸿博, 蔡晓峰, 杨向真 (1291)

· 自动化 ·

基于分布式行波检测的广域网络故障定位方法
 邓丰, 曾祥君, 马士聪, 赵冬红 (1300)

基于改进 SEC 模型的新一代智能变电站设计方案评价
 陈艳波, 刘洋, 张籍, 杜治, 王若兰, 谢瀚阳, 蔡勇 (1308)

基于动态推理链的电网故障诊断方法
 韩迎春, 童晓阳 (1315)

· 高电压技术 ·

变压器中性点配置小电阻器对治理电网 GIC 的效果分析
 杨培宏, 郑许朋, 刘连光, 刘春明, 马成廉 (1324)

变压器升高座内部套管局部放电特高频信号传播特征
 张强, 李成榕, 刘齐, 郑书生, 高强, 于在明 (1332)

改善直流电流地中分布的接地极互联技术研究
 黄义隆, 张波, 国建宝, 曹方圆 (1338)

开关柜电弧故障及其测量方法研究
 刘柱揆, 丁心志, 陈福明, 许守东, 董涛 (1345)

应用显微红外法的硅橡胶复合绝缘子伞裙老化深度研究
 彭向阳, 林宏升, 黄振, 周宇明, 张妮, 方鹏飞 (1350)

柔性石墨接地体及其接头耐腐蚀特性
 张思寒, 肖微, 胡元潮, 邓永清, 阮江军, 黄道春, 詹清华 (1357)

特高频传感器等效高度的频域参考测量方法
 陈玉树 (1364)

“大规模新能源并网系统振荡稳定性及安全运行”专题征稿启事 (1067)

“支撑新能源跨区输送的新型电网技术”专题征稿启事 (1157)

《工程索引》(EI) 收录核心期刊
 2015 年度全国“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 41 卷 第 4 期 (总第 401 期)

主 管: 国家电网公司
 主 办: 国家电网公司
 编 辑: 《电网技术》编辑部
 出 版: 《电网技术》杂志社
 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: 闫 岷 010-82812465
 编 辑: 010-82812523/2543/2981/2982
 网上投稿: <http://www.dwjs.com.cn>
 电力系统内部电话: 91871+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

期刊基本参数: CN 11-2410/TM * 1957 * M * A4 * 334 * zh * P * ¥80.00 * 20000 * 45 * 2017-04 版权所有 未经许可不得转载及上网

POWER SYSTEM TECHNOLOGY

2017, Vol. 41 No. 4 (Ser. 401)

Contents

• Oscillatory Stability and System Safety of Large-Scale Renewable Energy Integrated Power Systems •

Study of Complex Oscillation Caused by Renewable Energy Integration and Its Solution

..... Li Mingjie, Yu Zhao, Xu Tao, He Jingbo, Wang Chao, Xie Xiaorong, Liu Chun (1035)

Analysis of Subsynchronous Resonance/Oscillation Types in Power Systems

..... Xie Xiaorong, Wang Luping, He Jingbo, Liu Huakun, Wang Chao, Zhan Ying (1043)

Overview of Research on Subsynchronous Oscillations in Large-Scale Wind Farm Integrated System

..... Wang Weisheng, Zhang Chong, He Guoqing, Li Guanghui, Zhang Jianyun, Wang Haijiao (1050)

Mechanism Research of Subsynchronous and Supersynchronous Oscillations Caused by Compound Current Loop of Grid-Connected Inverter

..... Wang Hui, Li Ying, Li Wenfeng, Wang Chao, Liu Mingsong, Yang Daye (1061)

Analysis and Optimization of ‘Tailing Phenomenon’ in Active Power Control of Hybrid Wind-PV-ES Power System

..... Wu Han, Lu Zongxiang, Bai Kai, Liu Hanmin, Wu Linlin, Qiao Ying (1068)

Analytical Model for DFIG Stator Interharmonic Current Induced by Coupling of RSC Disturbance Components and Slip Frequency

..... Liao Kunyu, Tao Shun, Yao Liting, Xiao Xiangning, Yang Lin, He Jingbo (1076)

Adaptive Underfrequency Load Shedding Strategy Considering High Wind Power Penetration

..... Li Shun, Liao Qingfen, Tang Fei, Zhao Hongsheng, Shao Youguo (1084)

Mechanism Analysis of Droop Control of DFIG Influence on System Small-Signal Dynamic Stability Based on Damping Torque Analysis

..... Wang Qing, Xue Ancheng, Zhang Xiaojia, Shen Weigang (1091)

• HVDC Transmission & HVDC Grid •

Comparison of Reliability and Economy Between UHVAC and UHVDC Transmission Systems

..... Peng Lübin, He Jian, Xie Kaigui, Tang Yong, Hu Bo, Yi Jun, Li Jiangshan, He Qing (1098)

LCL-Based Resonant Modular Multilevel DC/DC Converter for DC Grids

..... Wang Xinying, Tang Guangfu, Wei Xiaoguang, Ma Chunyan, Gao Yang, Xiao Xiangning (1106)

Simulation and Mechanism Analysis of Internal Overvoltage of UHVDC Transmission Lines

..... Dong Peng, Zhu Yiyang, Xi Gongwei, Wang Weiwei, Liu Chong, Hu Tao, Huang Shaofeng (1114)

• Research and Demonstration on Key Technologies of Active Distribution Network •

Storage Capacity Optimization in Active Distribution Network Based on Fourier-Legendre Series Expansion

..... Han Weichao, Liu Junyong, Liu Youbo, Xiang Yue, Yang Jiashi, Chen Long, Li Bin (1123)

Scene Dimensionality Reduction Technology in Active Power Distribution Network Planning Based on Orderly Clustering of Panel Data

..... Liu Jieying, Liu Junyong, Huang Yuan, Liu Youbo, Gao Hongjun, Zhuang Dan, Ma Tiefeng (1132)

A Novel Situation Awareness Approach Based on Historical Data-Mining Model in Distribution Networks

..... Huang Manyun, Wei Zhinong, Sun Guoqiang, Zang Haixiang, Huang Qiang (1139)

• Power System •

Application of Flexible Coordinated AC/DC Control Technology in Central-China Power Grid

..... Shao Dejun, Xu Youping, Zhao Bing, Xi Jianghui, Pan Xiaojie, Wu Ping, Liu Changyi, Et Al (1146)

Research on Wide-Area Damping Control System of Mengxi Power Delivery Passageway in North China Power Grid

..... Liang Hao, Jiang Changming, Zhao Feng, Xie Huan, Xu Ying, Jia Lin, Gao Xun (1152)

Autonomous Decentralized Control of Multi-Agent System for AC/DC Hybrid Grid

..... Gao Yang, Ai Qian, Hao Ran, Zhang Zhaocheng, Muhammad Yousif (1158)

A Primary Study on the Situation Awareness of Power Systems Using Random Matrix Theory

..... He Xing, Ai Qian, Qiu Caiming, Zhang Jian, Xu Xinyi (1165)

Transient Stability Analysis of Stochastic Complex Multi-Machine System Based on Improved Extended Equal-Area Criteria

..... Huang Tong, Wang Jie (1174)

Application of Several Levenberg-Marquardt Methods With Higher-Order Convergence in Power Flow Calculation

..... Cao Jia, Xu Xiaoyuan, Yan Zheng, Li Yupeng, Yang Zenghui, Feng Nan (1181)

Support Vector Machine Ensemble Classifier and Its Confidence Evaluation for Transient Stability Prediction of Power Systems

..... Zhou Yanzen, Wu Junyong, Yu Zhihong, Ji Luyun, Hao Liangliang (1188)

Low-Order Approximation Method for Frequency-Dependent Transmission Line Model

..... Liu Jun, Guo Jincheng, Wei Zhanhong, Fang Wanliang, Hou Junxian, Xiang Zutao (1197)

Reliability Evaluation of Integrated Power Systems Considering Connection Modes of HV Distribution Network

..... He Jinghan, Deng Xiaoyang, Miao Youzhong, Luo Wei, Lei Weimin, Zhang Pei, Wang Xiaojun (1204)

N-2 Fault Set Rapid Screening Method Based on Fuzzy Theory and Risk Factor

..... Ding Jianyong, Zhu Tiantong, Tian Shiming, Zhou Kai, Pan Mingming (1212)

Fast Analysis Method of Power System Mode Resonance Based on Power Iteration	Li Zhaoyang, Hu Haitao, Zhou Yi, He Zhengyou (1218)
PV Curve Calculation Based on Taylor Series and Parameter Selection Analysis	Wu Chengye, Liu Guangye, Luo Jingwei (1225)
Cooperative Generation-Load Optimal Dispatching Model Considering Air-Conditioning Load Group Control	Liu Meng, Liang Wen, Zhang Yan, Liu Jie, Li Kuan (1230)
Inverter-Less APF Based on Push-Pull Forward AC-AC Converter for VAR and Harmonic Compensation	Shi He, Li Lei, Guan Yue, Ma Aihua, Guo Jian (1237)
· Low-Carbon Electricity ·	
Strategy of Bilevel Inverse Robust Optimization Dispatch of Virtual Power Plant Containing V2G	Lu Zhigang, Wang Huijing, Zhao Hao, Feng Huibo (1245)
Optimal Dispatch and Control of Active Power for Wind Farm Cluster Including Storages Considering the Forecasting Power	Wang Chengfu, Li Xijuan, Liang Jun, Han Xueshan, Li Guanglei (1253)
Dynamic Evaluation on Day-Ahead Wind Power Accommodation With Economic Consideration	Li Hongzhong, Lü Zhenbang, Zhu Jiaming, Sun Weiqing (1261)
A Consensus Protocol Based Control Method for Coordinated Multi-Microgrid Control	He Hongyu, Fan Li, Han Bei, Li Guojie, Liu Shaojie (1269)
Control Strategy of Islanded Photovoltaic-Diesel-Storage Microgrid With Virtual Synchronous Generator	Lin Yan, Zhang Jiancheng (1277)
Research of Microgrid Seamless Switching Based on State Follower	Tian Liangyu, Tang Zhong, Tian Chen, Zhu Ruiting (1285)
Sequence Decomposition Control Strategy for Virtual Synchronous Generator Based on Three-Phase Four-Leg Inverter	Zhang Hongbo, Cai Xiaofeng, Yang Xiangzhen (1291)
· Automation ·	
Research on Wide Area Traveling Wave Fault Location Method Based on Distributed Traveling Wave Detection	Deng Feng, Zeng Xiangjun, Ma Shicong, Zhao Donghong (1300)
An Evaluation Method of Design Scheme for New Generation Smart Substation Based on Improved SEC	Chen Yanbo, Liu Yang, Zhang Ji, Du Zhi, Wang Ruolan, Xie Hanyang, Cai Yong (1308)
Power System Fault Diagnosis Based on Dynamic Reasoning Chain	Han Yingchun, Tong Xiaoyang (1315)
· High Voltages ·	
Effects of Transformer Neutral Grounding via Small Resistor on Mitigating Geomagnetically Induced Currents in Power Grid	Yang Peihong, Zheng Xupeng, Liu Lianguang, Liu Chunming, Ma Chenglian (1324)
Research on Propagation of UHF Signals by Partial Discharges in Ascending Flanged Base	Zhang Qiang, Li Chengrong, Liu Qi, Zheng Shusheng, Gao Qiang, Yu Zaiming (1332)
Research on Improving DC Current Distribution in Earth by Interconnecting DC Grounding Electrodes	Huang Yilong, Zhang Bo, Guo Jianbao, Cao Fangyuan (1338)
Research on Switchgear Arc Discharge Fault and Its Measurement	Liu Zhukui, Ding Xinzhi, Chen Fuming, Xu Shoudong, Dong Hao (1345)
An Infrared Microspectroscopy Method for Determining Degradation Depth of Silicone Rubber Composite Insulator Shed	Peng Xiangyang, Lin Hongsheng, Huang Zhen, Zhou Yuming, Zhang Ni, Fang Pengfei (1350)
Corrosion-Resistance Properties of Flexible Graphite Grounding Body and Its Connector	Zhang Sihan, Xiao Wei, Hu Yuanchao, Deng Yongqing, Ruan Jiangjun, Huang Daochun, Zhan Qinghua (1357)
Frequency Domain Reference Method for Measuring Equivalent Height of Ultra-High-Frequency Sensor	Chen Yushu (1364)

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

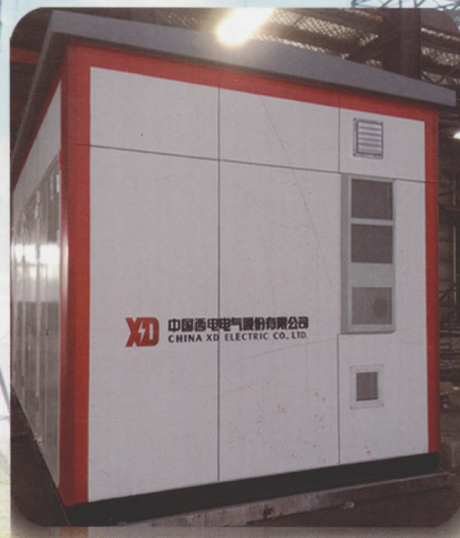
Address: China Electric Power Research Institute, Qinghe, Beijing 100192, China

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

预装式变电站



专业、高效、便捷

西安西电高压开关有限责任公司（简称西开有限）预装式变电站严格遵循国家相关制造标准，通过国家专业机构检测认证，满足盐雾、高海拔、湿热等各类自然环境的使用要求。

西开有限竭诚为用户提供专业的变电站系统解决方案，全站实行模块化设计，各模块整体运输、吊装，满足用户快速建站需求。