

电力自动化设备

Electric Power Automation Equipment

中文核心期刊 中国科技核心期刊 CSCD 核心期刊 美国《工程索引》(Ei) 核心期刊 英国 SA/INSPEC、俄罗斯 AJ、美国 CSA、荷兰 Scopus 收录期刊



致力于发展“电网自动化、电厂及工业自动化、轨道交通自动化、信息与安全技术、电力电子”等产业

为智慧电力提供整体解决方案

自动化、智能化成就未来

Be Automation Be Intelligence Be Future

更清洁 更安全 更有效
more Clean more Security more Efficiency
更清洁 更安全 更有效
more Clean more Security more Efficiency

详情请访问<http://www.sac-china.com>, 或致电 400-1-600268

SAC 国电南京自动化股份有限公司
GUODIAN NANJING AUTOMATION CO., LTD.

ISSN 1006-6047



南京电力自动化研究所有限公司
国电南京自动化股份有限公司

主办

2019 11
第 39 卷 第 11 期
Vol. 39 No. 11



万方数据

电力自动化设备

DIANLI ZIDONGHUA SHEBEI

(月刊,1973年创刊)



11月
2019年

第39卷第11期
(总第307期)
2019年11月10日出版

编辑委员会

主任委员	王宏志
副主任委员	张东晓 周顺宏 胡红升 王凤蛟 经海林
名誉编委	(按姓氏笔画排序) 王维俭 王锡凡 卢强 严璋 杨以涵 杨奇逊 吴青华 吴复立 余贻鑫 辛耀中 宋永华 宋璇坤 张丽英 张伯明 陈 陈 陈德树 罗 安 周有庆 周孝信 洪佩孙 贺家李 钱清泉 徐文远 韩英铎 韩祯祥 程时杰 舒印彪
编 委	(按姓氏笔画排序) 丁 明 于继来 卫志农 王成山 王守相 王克文 王增平 韦 化 文劲宇 文福拴 尹项根 艾 芊 艾 欣 卢志刚 朱守真 刘天琪 刘玉田 刘向杰 刘明波 刘俊勇 刘宪林 刘 健 江全元 孙元章 孙宏斌 毕天姝 阮新波 严干贵 严 正 李生虎 李永丽 李庚银 李 斌 束洪春 别朝红 何正友 闵 勇 张 尧 张 兴 张 波 张保会 张道农 陆于平 陈星莺 陈维荣 陈皓勇 邵能灵 林中达 林湘宁 和敬涵 周 浩 周雄维 赵争鸣 赵建国 赵剑锋 赵晋泉 胡家兵 胡敏强 段献忠 袁 越 贾宏杰 夏 清 徐丙垠 徐 政 徐殿国 高仕斌 高厚磊 郭效军 唐 炬 涂春鸣 黄学良 曹一家 康重庆 康 勇 董新洲 程浩忠 曾祥君 曾 嵘 谢少军 蔡泽祥 廖瑞金 薄志谦 穆 钢 鞠 平
主 编	郭效军

▶▶ 专家论坛

- 1 电力系统的柔性、弹性与韧性研究 鞠 平,王 冲,辛焕海,等

▶▶ 中国电力教育大学院(校)长联席会学术论文专栏

- 8 受潮对油纸电容式套管频域介电响应的影响 廖瑞金,杜永永,高 竣,等

▶▶ 清洁能源

- 13 基于中长期风电光伏预测的多能源电力系统合约电量分解模型 赵书强,胡利宁,田捷夫,等
20 考虑DFIG桨距角参数优化的小干扰稳定约束最优潮流模型 李生虎,蒋以天,于新钰,等
27 随机风电接入的电力系统动态经济调度多场景协同优化 谢 敏,罗文豪,吉 祥,等
34 考虑风电功率不确定性的风电场出力计划上报策略 张 峰,张 鹏,梁 军

▶▶ 微电网专题

- 41 售电市场环境下的并网型微电网的电源配置及优化运行 李振坤,何 凯,路 群,等
50 基于混合静止能量的虚拟转动惯量控制技术 张祥宇,李凌斐,边子轩
57 基于条件风险价值的风柴储孤岛微网经济风险评估 郑 益,朱俊澎,袁 越

▶▶ 智能配电系统专题

- 64 基于卷积深度置信网络的配电网故障分类方法 洪 翠,付宇泽,郭谋发,等
71 应对极端灾害的韧性配电网自动开关优化配置 陈碧云,陈灏颖,李 滨
78 基于融合熵时段划分的三相配电网动态重构 童方格,谭阳红,罗春辉
85 面向配电网弹性提升的智能软开关鲁棒优化 胡 玉,顾 洁,马 睿,等

国家科委(90)国科发情字796号文批准

►► 分析与研究

- 92 市场竞争机制下用户用电行为特性辨识模型
李 扬,陈玉辰,王子健,等
- 99 MMC-MTDC系统的电磁-机电暂态建模与实时仿真分析
唐亚南,叶 华,裴 玮,等
- 107 预防多馈入直流输电系统换相失败的直流功率控制方法
印 月,刘天琪,艾 青,等
- 114 单极闭锁引起直流健全极换相失败分析 尹纯亚,李凤婷,陈伟伟,等
- 120 基于PWM-CSC的混合直流输电系统电网故障穿越策略
夏 冰,李耀华,李子欣,等
- 127 同塔四回输电线路故障选线新方案 于仲安,毕俊强,郭培育,等
- 133 基于串补线性化模型的含串补线路距离保护整定方法
黄宗超,王 帆,刘一民,等
- 139 改善异步分区电网频率稳定性的VSC-HVDC控制策略
付 聪,卞志鹏,王 铃,等
- 145 MMC-RPC的功率同步平坦控制策略 宋平岗,周鹏辉,肖 丹,等
- 152 DCM-CRM Boost-Flyback单级PFC变换器 阎铁生,李明洪,陶权保,等
- 159 基于三相-单相电力电子变压器的牵引供电系统负载不平衡、无功和谐波潮流分析
闫 晗,舒泽亮,姚家煊,等
- 165 基于社团重叠的电力通信相依网络建模及其抗毁性分析
龙章飞,王 涛,顾雪平,等
- 174 基于阿基米德Copula和拉丁超立方采样的概率最优潮流计算
肖 青,周少武
- 181 面向电力变压器状态评价的油中溶解气体监测数据补全方法
张若愚,齐 波,张 鹏,等

►► 综述

- 188 DC-link 电容器在线状态监测方法综述 姚 芳,王 槟,唐圣学,等

►► 探讨与应用

- 198 基于电力大数据的地区E-GDP值预测 田世明,龚桃荣,黄小庆,等
- 205 有限元电场计算时模型表面网格精细控制方法
田 雨,杜志叶,柳 双,等
- 211 基于GIC无功损耗严重度指标的电网地磁暴易损区识别方法
徐旖旎,康小宁,赵 冲,等

►► 经验交流

- 217 水电机组PID功率调节对异步送端电网的频率稳定性影响
胡 林,申建建,曾 云,等

第三届全国期刊奖提名奖获奖期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中文核心期刊
《工程索引》(Ei)核心期刊
中国科学引文数据库(CSCD)核心期刊
中国科技核心期刊
RCCSE 中国权威学术期刊
英国《科学文摘》(SA,INSPEC)收录期刊
美国《剑桥科学文摘》(CSA)收录期刊
俄罗斯《文摘杂志》(AJ,VINITI)收录期刊
美国《乌利希期刊指南》(UPD)收录期刊
荷兰《文摘与引文数据库》(Scopus)来源期刊
第四届华东地区优秀期刊
中国电力报刊协会优秀期刊



主管单位 中国华电集团有限公司
主办单位 南京电力自动化研究所有限公司
国电南京自动化股份有限公司
编辑出版 《电力自动化设备》编辑部
地 址 南京高新技术产业开发区星火路8号
邮政编码 210032
社 长 康鲁豫
编辑部主任 李育燕
编辑部副主任 李 莉、李 玲
广告部主管 张芳芳
发行部主管 于娜娜
本期栏目统筹 李 莉
美术编辑 卞金晶
电 话 (025)51859278(社长室)
(025)83537347,51859279(编辑部)
(025)83537349(广告部)
(025)51859280(发行及读者服务部)
(025)51183898(平面设计部)

网 址 www.epae.cn
电子信箱 epae@sac-china.com
发行范围 国内外公开发行
印 刷 中闻集团南京印务有限公司
国内发行 江苏省邮政局
邮发代号 28-268
订 阅 处 全国各地邮局
国内定价 每期35.00元,全年420.00元
海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司
(100048)
海外发行代号 MO-4802
中国标准连续出版物号 ISSN 1006-6047
CN 32-1318/TM
国际刊名代码(CODEN) DZSHFK



关注微信



访问官网

Electric Power Automation Equipment (EPAE)

Vol.39 No.11(Sum No.307)

Nov. 2019

CONTENTS

EXPERT'S VIEWS

- 7 Flexibility, resilience and toughness of power system *JU Ping, WANG Chong, XIN Huanhai, et al.*

ACADEMIC DISSERTATION COLUMN OF UNIVERSITY ASSOCIATION OF ELECTRICAL ENGINEERING CHINA

- 12 Effect of moisture content on dielectric frequency domain response of oil-paper condenser bushing
LIAO Ruijin, DU Yongyong, GAO Jun, et al.

CLEAN ENERGY

- 19 Contract power decomposition model of multi-energy power system based on mid-long term wind power and photovoltaic electricity forecasting *ZHAO Shuqiang, HU Lining, TIAN Jiefu, et al.*
26 Small-signal stability constrained optimal power flow model considering optimization of DFIG pitch angle
LI Shenghu, JIANG Yitian, YU Xinyu, et al.
33 Multi-scenario collaborative optimization for dynamic economic dispatch of power system with stochastic wind power integration *XIE Min, LUO Wenhao, JI Xiang, et al.*
40 Wind farm generation schedule strategy considering wind power uncertainty *ZHANG Feng, ZHANG Peng, LIANG Jun*

MICROGRID COLUMN

- 49 Power configuration and optimal operation of grid-connected microgrid in electricity selling market
LI Zhenkun, HE Kai, LU Qun, et al.
56 Virtual moment inertia control based on hybrid static energy storage *ZHANG Xiangyu, LI Lingfei, BIAN Zixuan*
63 Economic risk assessment of wind-diesel-storage islanded microgrid based on conditional value at risk
ZHENG Yi, ZHU Junpeng, YUAN Yue

SPECIAL COLUMN: SMART DISTRIBUTION SYSTEM

- 70 Fault classification method based on CDBN for distribution network *HONG Cui, FU Yuze, GUO Moufa, et al.*
77 Optimal planning of automatic switches in resilient distribution network against extreme disasters
CHEN Biyun, CHEN Haoying, LI Bin
84 Dynamic reconstruction of three-phase distribution network based on time division of fusion entropy
TONG Fangge, TAN Yanghong, LUO Chunhui
91 SNOP robust optimization for distribution network resilience enhancement *HU Yu, GU Jie, MA Rui, et al.*

ANALYSIS AND RESEARCH

- 98 Identification model of users' electricity consumption behavior characteristics under market competition mechanism
LI Yang, CHEN Yuchen, WANG Zijian, et al.
106 Electromagnetic-electromechanical transient modeling and real-time simulation analysis of MMC-MTDC system
TANG Yanan, YE Hua, PEI Wei, et al.
113 DC power control method for preventing commutation failure in multi-DC transmission system
YIN Yue, LIU Tianqi, AI Qing, et al.
132 Commutation failure risk analysis of sound pole caused by DC monopole blocking
YIN Chunyu, LI Fengting, CHEN Weiwei, et al.

Competent Authorities China Huadian Corporation Ltd.

Sponsor Nanjing Electric Power Automation Research Institute Co., Ltd.
Guodian Nanjing Automation Co., Ltd.

Chairman WANG Hongzhi

Editor in Chief GUO Xiaojun

Web Site www.epae.cn

Publication Number ISSN 1006-6047

Editor and Publisher Electric Power Automation Equipment
Editorial Department

Add 8 Xinghuo Road, Pukou District, Nanjing, China

Post Code 210032

Tel 86-25-51859278, 83537347, 83537349

E-mail epae@sac-china.com

- 126 Research of grid fault ride-through strategy for PWM-CSC based hybrid HVDC transmission system
XIA Bing, LI Yaohua, LI Zixin, et al.
- 132 New fault line selection scheme for four-circuit transmission lines on same tower
YU Zhongan, BI Junqiang, GUO Peiyu, et al.
- 138 Distance protection setting method of series-compensated line based on series compensation linearized model
HUANG Zongchao, WANG Fan, LIU Yimin, et al.
- 144 VSC-HVDC control strategy for enhancing frequency stability of segmented power grid
FU Cong, BIAN Zhipeng, WANG Qian, et al.
- 151 Power synchronization flatness control strategy of MMC-RPC
SONG Pinggang, ZHOU Penghui, XIAO Dan, et al.
- 158 DCM-CRM Boost-Flyback single-stage PFC converter
YAN Tiesheng, LI Minghong, TAO Quanbao, et al.
- 164 Power flow analysis of unbalance, reactive power and harmonics in traction power supply system based on three-phase to single-phase power electronic transformer
YAN Han, SHU Zeliang, YAO Jiaxuan, et al.
- 204 Modeling and invulnerability analysis of power communication interdependent network based on community overlapping
LONG Qinfei, WANG Tao, GU Xueping, et al.
- 180 Probabilistic optimal power flow computation based on Archimedean Copula and Latin hypercube sampling
XIAO Qing, ZHOU Shaowu
- 187 Method for interpolating monitoring data of dissolved gas in oil for power transformer state assessment
ZHANG Ruoyu, QI Bo, ZHANG Peng, et al.

SUMMARY AND SURVEY

- 197 Review of online condition monitoring methods for DC-link capacitor
YAO Fang, WANG Bing, TANG Shengxue, et al.

DISCUSSION AND APPLICATION

- 204 Forecasting regional E-GDP value using power big data
TIAN Shiming, GONG Taorong, HUANG Xiaoqing, et al.
- 210 Precise mesh control method on model surface for finite element electric field calculation
TIAN Yu, DU Zhiye, LIU Shuang, et al.
- 216 Identification method of power system geomagnetic storm vulnerable area based on GIC reactive power loss
XU Yini, KANG Xiaoning, ZHAO Chong, et al.

EXPERIENCE COMMUNICATION

- 223 Impact of PID power regulation of hydroelectric unit on frequency stability for asynchronous sending-end power grid
HU Lin, SHEN Jianjian, ZENG Yun, et al.

《电力自动化设备》2019 年度重点专题

《电力自动化设备》2019 年度重点推出“综合能源系统安全分析与优化控制技术”专题(专题特约主编:河海大学卫志农教授、天津大学王丹副教授、河海大学孙国强副教授)与“大型交直流混联电网运行控制与保护”专题(专题特约主编:清华大学董新洲教授、中国电科院汤涌教授级高工、中国电科院卜广全教授级高工、清华大学王宾副研究员),集中展现相关领域科学技术的最新研究进展。敬请关注!

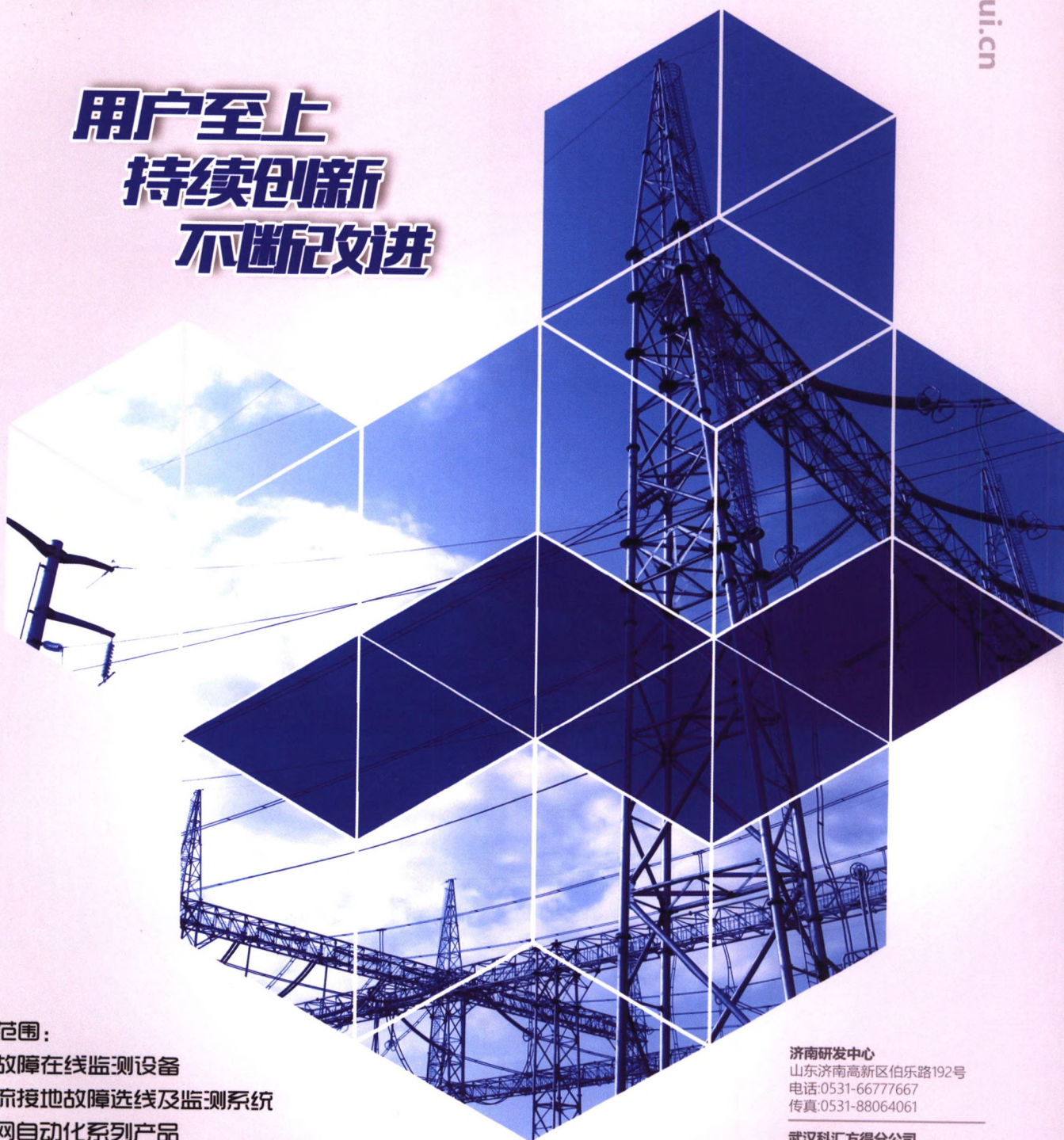
“综合能源系统安全分析与优化控制技术”专题

- 1) 面向安全分析的综合能源系统建模仿真技术;
- 2) 综合能源系统状态估计和态势感知技术;
- 3) 综合能源系统关键故障辨识与筛选技术;
- 4) 综合能源系统连锁故障机理与安全防御控制技术;
- 5) 综合能源系统安全域观测与可视化技术;
- 6) 高比例可再生能源并网的综合能源系统安全稳定分析;
- 7) 数据攻击下的综合能源系统安全分析与防御策略;
- 8) 计及需求侧响应的综合能源系统安全评估方法;
- 9) 计及不确定性的综合能源系统安全分析方法。

“大型交直流混联电网运行控制与保护”专题

- 1) 交直流混联电网动态建模及仿真技术;
- 2) 高比例可再生发电规模化控制与保护技术;
- 3) 高压直流输电系统连续换相失败机理及抑制技术;
- 4) 交直流混联电网动态等值及故障分析技术;
- 5) 交直流混联电网中传统继电保护技术适应性分析;
- 6) 行波保护新技术;
- 7) 面向系统安全的交直流混联电网保护控制技术。

**用户至上
持续创新
不断改进**



业务范围:

电力故障在线监测设备
小电流接地故障选线及监测系统
配电网自动化系列产品
铁路电力自动化系列产品
电力电缆故障测试系列仪器

济南研发中心
山东济南高新区伯乐路192号
电话:0531-66777667
传真:0531-88064061

武汉科汇方得分公司
湖北武汉东湖开发区武大科技园
电话: 027-82668396
传真: 027-67848757

青岛科汇电气有限公司
山东青岛高新区松园路17号
电话: 0532-68012536
传真: 0532-68012536

山东科汇电力自动化股份有限公司
Shandong Kehui Power Automation Co., Ltd.

地址: 山东省淄博市张店区三赢路16号
山东科汇科技园
电话: 0533-3181567 / 3179628

客户服务电话: 400-0533-069
客户服务邮箱: 400@kehui.cn
传真: 0533-3818921

