



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

更环保 更节能 更智能
more Eco-friendly more Energy-saving more Intelligent

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

第39卷 第1期
Vol.39 No.1

1



电力自动化设备

DIANLI ZIDONGHUA SHEBEI

(月刊, 1973 年创刊)

目次
Contents



1月
2019 年
第 39 卷 第 1 期
(总第 297 期)
2019 年 1 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 史世文 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	周维维 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	颜汉荣 薄志谦 穆 钢 鞠 平
主 编	郭效军

万方数据

电力电子技术应用专题

- 1 新型高压直流断路器的自供能控制策略 肖晃庆, 徐 政, 刘高任, 等
- 10 基于整流侧触发角紧急控制的换相失败预防策略 刘 畅, 李程昊, 姚 伟, 等
- 19 基于滑模控制的新型双准 Z 源 NPC 型五电平逆变器并网控制策略 李 涛, 程启明, 程尹曼, 等
- 27 用于 HVDC 系统互联的高频模块化直流变压器优化控制策略 陈 东, 梅 念, 孙谦浩, 等
- 33 基于混合电压矢量预选的逆变器模型预测共模电压抑制方法 郭磊磊, 韩东许, 芮 涛
- 40 柔直换流阀用压接式 IGBT 器件物理场建模及内部压强分析 潘 艳, 李金元, 李尧圣, 等
- 46 基于 IGBT 混联闭环控制策略的无弧智能直流断路器 方朝林, 许志红
- 53 扎鲁特—青州 ± 800 kV 特高压直流输电工程运行特性分析 罗汉武, 乐 健, 毛 涛, 等

清洁能源

- 60 基于双维度顺序填补框架与改进 Kohonen 天气聚类的光伏发电短期预测 李燕青, 杜莹莹
- 66 基于功率平衡控制原理的双馈风电机组辅助调频方法 黄 伟, 陈 炜, 吴 军, 等
- 73 XGBoost 算法在风机主轴承故障预测中的应用 王桂兰, 赵洪山, 米增强
- 78 基于证据理论的风速不确定性建模 郭小璇, 龚仁喜, 鲍海波

分析与研究

- 84 基于信息物理接口矩阵的 IEC61850 变电站自动化系统可靠性分析 李 勇, 陈 雨, 蔡 晔, 等

- 91 基于整数线性规划的恢复子系统划分与分区方案的综合评价
周光奇,顾雪平,马世英,等
- 99 电力系统静态安全最优潮流并行计算方法
阳育德,陶 琢,刘 辉,等
- 106 用于配电网多目标无功优化的改进粒子群优化算法 李晓利,高金峰
- 112 高速公路充电站电动汽车有序充电策略 陈立兴,黄学良
- 118 考虑多能互补的区域综合能源系统多种储能优化配置
熊 文,刘育权,苏万煌,等
- 127 模块化混合储能系统及其能量管理策略 苏 浩,张建成,冯冬涵,等
- 134 基于讨价还价博弈理论的分布式能源合作收益分配模型
秦 婷,刘怀东,王锦桥,等
- 141 计及 FTU 漏报和误报的配电网故障定位分层解析模型
王秋杰,金 涛,刘 军
- 148 具有 2 种制冷方式的冷热电联产系统时序仿真算法
贾善杰,安 勇,梁 荣,等
- 153 基于同步相量数据的间谐波还原算法 刘 灏,许苏迪,毕天姝,等
- 161 船舶岸电系统中变频电源控制参数辨识方法 曹 亮,房鑫炎,罗文斌
- 168 低压动态电压恢复器 2 种滤波器结构的比较与分析
王有云,马保慧,张厚楷,等
- 175 设备侧电压暂降严重程度评估方法研究 卢文清,常乾坤,贾东强,等
- 183 适用于后备保护整定计算的阶段式发电机模型
雷 淇,王晓阳,刘亚东,等
- 192 采用改进 Davidson-Cole 介电模型的变压器油纸绝缘状态分析
张 涛,李林多,冉华军,等
- 198 基于改进 Hilbert-Huang 变换和支持向量机的高压断路器触头超程
状态识别 杨秋玉,阮江军,黄道春,等
- 205 故障电弧模拟测试系统及不确定因素的研究 金 闪,许志红

▶▶ 探讨与应用

- 211 环境因素影响下 GIL 温升特性的仿真计算分析
周利军,张凯培,王朋成,等
- 219 用于船舶综合电力系统同步测量的高精度 PTP 混合时钟同步方法
路 遥,江汉红,王 义

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

EPAE 电力自动化设备杂志社
EPAE Periodical Press

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 玮
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.1(Sum No.297)

Jan. 2019

CONTENTS

POWER ELECTRONICS APPLICATION COLUMN

- 9 Self-powered control strategy of new HVDC circuit breaker *XIAO Huangqing, XU Zheng, LIU Gaoren, et al.*
- 18 Rectifier trigger angle emergency control strategy for preventing commutation failures *LIU Chang, LI Chenghao, YAO Wei, et al.*
- 26 Grid-connected control strategy of new dual quasi-Z-source five-level NPC inverter based on sliding mode control
LI Tao, CHENG Qiming, CHENG Yinman, et al.
- 32 Optimization control strategy of high-frequency modular DC/DC transformer for HVDC system integration
CHEN Dong, MEI Nian, SUN Qianhao, et al.
- 39 Hybrid voltage vector preselection strategy based model predictive control method for inverters to reduce common-mode voltage
GUO Leilei, HAN Dongxu, RUI Tao
- 45 Physical field modeling and internal pressure analysis of press-pack IGBT device based VSC-HVDC converter
PAN Yan, LI Jinyuan, LI Yaosheng, et al.
- 52 Arcless intelligent DC contactor based on IGBT hybrid connection closed-loop control strategy *FANG Chaolin, XU Zhihong*
- 59 Analysis of operation characteristics of Zhahute-Qingzhou ± 800 kV UHVDC system *LUO Hanwu, LE Jian, MAO Tao, et al.*

CLEAN ENERGY

- 65 Short-term photovoltaic power forecasting based on double-dimensional sequential imputation framework and improved Kohonen clustering
LI Yanqing, DU Yingying
- 72 Auxiliary frequency modulation method of DFIG-based wind turbine based on principle of power balance control
HUANG Wei, CHEN Wei, WU Jun, et al.
- 83 Application of XGBoost algorithm in prediction of wind motor main bearing fault *WANG Guilan, ZHAO Hongshan, MI Zengqiang*
- 83 Modeling of wind speed uncertainty based on evidence theory *GUO Xiaoxuan, GONG Renxi, BAO Haibo*

ANALYSIS AND RESEARCH

- 98 Reliability analysis of IEC61850 substation automation system based on cyber-physical interface matrix
LI Yong, CHEN Yu, CAI Ye, et al.
- 98 Restoration subsystem division based on integer linear programming and comprehensive evaluation of dividing schemes
ZHOU Guangqi, GU Xueping, MA Shiying, et al.
- 105 Parallel computation methods for static security-constrained optimal power flow of power system
YANG Yude, TAO Zhuo, LIU Hui, et al.
- 111 Improved particle swarm optimization algorithm for multi-objective reactive power optimization of distribution network
LI Xiaoli, GAO Jinfeng
- 126 Ordered charging strategy of electric vehicles at charging station on highway *CHEN Lixing, HUANG Xueliang*

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 Optimal configuration of multi-energy storage in regional integrated energy system considering multi-energy complementation
XIONG Wen, LIU Yuquan, SU Wanhua, et al.
- 140 Modular hybrid energy storage system and its energy management strategy SU Hao, ZHANG Jiancheng, FENG Donghan, et al.
- 140 Profit allocation model of cooperative distributed energy resources based on bargaining game theory
QIN Ting, LIU Huaidong, WANG Jinqiao, et al.
- 147 Hierarchical analytic model for fault location of distribution network considering FTU missing and false positives
WANG Qiuji, JIN Tao, LIU Jun
- 152 Sequence simulation algorithm of CCHP system with two cooling modes JIA Shanji, AN Yong, LIANG Rong, et al.
- 160 Inter-harmonic reduction algorithm based on synchrophasor measurements LIU Hao, XU Sudi, BI Tianshu, et al.
- 167 Control parameter identification of variable frequency power supply in shore-to-ship power system
CAO Liang, FANG Xinyan, LUO Wenbin
- 182 Comparison and analysis of two filter structures for low-voltage dynamic voltage restorer
WANG Youyun, MA Baohui, ZHANG Houkai, et al.
- 182 Research on evaluation methods of voltage sag severity for equipment side LU Wenqing, CHANG Qiankun, JIA Dongqiang, et al.
- 191 Stage generator model for backup protection setting calculation LEI Qi, WANG Xiaoyang, LIU Yadong, et al.
- 204 Analysis of transformer oil paper insulation aging using improved Davidson-Cole dielectric model
ZHANG Tao, LI Linduo, RAN Huajun, et al.
- 204 Over-travel detection of electrical contact for high-voltage circuit breaker based on improved HHT and SVM
YANG Qiuyu, RUAN Jiangjun, HUANG Daochun, et al.
- 210 Research on fault arc simulation test system and its uncertain factors JIN Shan, XU Zhihong

DISCUSSION & APPLICATION

- 218 Simulation and analysis of GIL temperature rise characteristics under effects of environmental factors
ZHOU Lijun, ZHANG Jipei, WANG Pengcheng, et al.
- 223 A high-precision PTP hybrid clock synchronous method for synchronous measurement of ship integrated power system
LU Yao, JIANG Hanhong, WANG Yi

EP&E



纸刊广告 官网宣传 微信推广

《电力自动化设备》杂志社广告业务部将借助三位一体的宣传平台（纸刊、网站 www.epae.cn、微信平台 EP&E-1973），以更立体的宣传模式，致力于搭建科学传播与企业形象塑造的虹桥，为广大电力企业提供专业、全面的宣传方案，介绍产品，助力企业品牌塑造！

《电力自动化设备》杂志社

地址：南京高新技术产业开发区星火路8号
网址：www.epae.cn 邮箱：fangfang-zhang@sac-china.com
联系人：张芳芳、于娜娜 电话：025-83537349、51859280



电动汽车 & 充电设施检测及仿真解决方案

Electric vehicle and charging facility testing & simulation system



北京博电新力电气股份有限公司

北京博电新力电气股份有限公司——电力检测、监测、试验领域的设备制造商、方案解决商、服务提供商。博电检测产品范围涵盖智能电网检测（新能源、特高压、智能变电站）、电气化交通检测（电动汽车、轨道交通）、工业电气检测（航空、航天、国防、军工）、智能用电检测（充电桩、智能电表）等。

博电电动汽车及充电设施检测及仿真解决方案，包括电动汽车及充电设施检测、电动汽车功率在环仿真试验、充电桩智能运维及现场试验、基于储能的电池管理系统等，为电动汽车及充电设施的类型试验、出厂检测、到货验收、现场巡检提供了技术保障。

欲了解产品详情，敬请致电博电总部或各地派出机构
24小时技术服务热线: **400-680-0650** 电话: 010-58526100
地址: 北京市北京经济技术开发区经海三路139号 100176

张明辉 010-59089652/13511024044
关朝强 010-59089833/15811290400
赵培雷 010-59089831/13581977960
陈岩 13811132440

<http://www.ponovo.cn>



"扫一扫"关注北京博电微信公众平台