



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 《工程索引》(Ei)核心期刊 RCCSE 权威学术期刊(A+) SA/INSPEC、AJ、CSA、Scopus、EBSCO 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 more Clean
更安全 more Security
更有效 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

2021
第41卷 第11期
Vol. 41 No. 11

11



万方数据

电力自动化设备

DIANLI ZIDONGHUA SHEBEI

(月刊,1973年创刊)



11月
2021年

第41卷第11期
(总第331期)
2021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
刘究林 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 辛焕海 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 郭创新 郭效军
唐 炬 涂春鸣 黄学良 梅生伟 曹一家
符 杨 康重庆 康 勇 董朝阳 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

中国电力教育大学院(校)长联席会学术论文专栏

1 基于强化学习的直流微电网分布式经济下垂控制

符 杨,郭笑岩,米 阳,李振坤,袁明瀚

多能协同综合能源系统专题

8 基于双层Kriging元模型算法的多产消代理商主从博弈能量管理模型

孙国强,王善磊,陈 胜,吴 晨,胡国伟,周亦洲,卫志农

17 基于模型预测控制的含岸电混合能源系统优化运行

王 玮,张晓晴,苏 粟,李泽宁,王业庭,夏 冬,王世丹

25 用户侧有限理性下基于主从博弈与电热需求响应的综合能源微网优化运行

帅轩越,王秀丽,吴 雄

32 考虑相依特性的电-气互联网络故障评估方法

苏洁莹,邓丰强,张勇军

电动汽车技术专题

40 考虑用户需求的电动汽车虚拟同步机辅助调频控制策略

苏 粟,李家浩,李泽宁,王业庭,夏 冬,王世丹

48 基于时空特性以及需求响应的DG和EV充电站多目标优化配置

刘丽军,吴 桐,陈贤达,郑文迪,徐启峰

57 基于主成分分析方法的多类型电动汽车接入配电网的综合风险评估

王 鹤,余中枢,李筱婧,边 竞

66 基于改进配电网安全域的规模化电动汽车入网影响分析

赵黄江,向 月,刘俊勇,胡 帅

74 基于模糊分数阶PID的含电动汽车的多能源微电网二次频率控制

项雷军,陈 昊,郭新华,杨一凡

综述

81 风电参与电力系统调频控制策略综述

刘洪波,彭晓宇,张 崇,张书钰

分析与研究

93 考虑样本类别不平衡的电网故障事件智能识别方法

卫志农,石东明,张 明,孙国强,臧海祥,沈培锋

100 基于改进自注意力机制生成对抗网络的智能电网GPS欺骗攻击防御方法

李元诚,杨珊珊

国家科委(90)国科发情字796号文批准

- 107 基于侧输出融合卷积神经网络的电能质量扰动分类方法
王继东,张 迪
- 113 基于全局灵敏度的区间模式阻尼提升策略 杨德友,赵 康,王丽馨
- 120 基于零序阻抗突变特征的谐振接地系统高阻接地故障选线方法
邵文权,刘一欢,程 远,张志华,程 畅
- 127 孤岛微电网的分布式有限时间事件触发二次协调控制
周建萍,张 健,茅大钧,葛祥一,叶剑桥,方 乐
- 133 基于多变量解耦控制的配电网单相接地故障集成柔性消弧方法
郭谋发,郭彩虹,郑泽胤
- 140 CPU-GPU 异构计算框架下的高性能用电负荷预测
赵嘉豪,周 贇,黄 莉,陆春艳,陶晓峰,冯燕钧
- 147 基于拓扑篡改的电力市场虚假数据注入攻击方案
王胜锋,丁 洲,吴劲松,邱爱兵
- 153 基于D-S证据组合规则的双模型融合局部放电模式识别方法
徐敏锐,李 云,卢树峰,窦晓波,陈 刚,郭家豪
- 160 基于改进状态空间分割法的继电保护设备拒动风险评估
丁茂生,钱 胜,王 超,王 琦,汤 奕

▶▶ 电力电子技术应用专题

- 167 磁偏置超导故障限流器限流响应模型与并网运行研究
诸嘉慧,韦德福,王 帅,秦汉阳,朱义东,严植泳,陈盼盼,
张宏杰,杨艳芳,邹 军
- 174 LCL并网逆变器一阶自抗扰控制及基于粒子群优化的控制参数整定方法
马 明,廖 鹏,蔡雨希,雷二涛,何英杰
- 183 基于二次谐波环流注入方法的混合MMC电容电压平衡控制策略
曹鑫巍,任文明,王炜信

▶▶ 清洁能源

- 190 计及市场化电价信号导向的含高比例水电电网扩展规划
王富阳,刘友波,胥威汀,苟 竞,刘 方,苏韵掣,刘俊勇
- 199 基于Bezier曲线的CIGS薄膜光伏电池I-V曲线简单拟合方法
师 楠,朱显辉,苏勋文
- 205 基于典型代表电站和改进SVM的区域光伏功率短期预测方法
张杨科,李 刚,李秀峰

▶▶ 特高压技术论坛

- 211 LCC-FHMMC混合直流输电系统阀侧故障特性及保护策略
陆书豪,贾秀芳
- 217 基于通径分析和相似时刻的特高压变压器顶层油温预测
谭风雷,陈 昊,何嘉弘

广告发布登记通知书编号:广登32010000078

第三届国家期刊奖提名奖获奖期刊
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(A+)
入选《能源电力领域高质量科技期刊分级目录》(T2)
入选《世界期刊影响力指数(WJCI)报告》
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
荷兰《文摘与引文数据库》(Scopus)来源期刊
俄罗斯《文摘杂志》(AJ,VINITI)收录期刊
美国EBSCO 学术数据库收录期刊
美国《乌利希期刊指南》(UPD)收录期刊
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 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 国内外公开发行业
印 刷 中闻集团南京印务有限公司
国内发行 江苏省邮政管理局
邮发代号 28-268
订 阅 处 全国各地邮局
国内定价 每期50.00元,全年600.00元
海外总发行 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.41 No.11(Sum No.331)

Nov. 2021

CONTENTS

ACADEMIC DISSERTATION COLUMN OF UNIVERSITY ASSOCIATION OF ELECTRICAL ENGINEERING CHINA

- 7 Distributed economic droop control for DC microgrid based on reinforcement learning
FU Yang, GUO Xiaoyan, MI Yang, LI Zhenkun, YUAN Minghan

SPECIAL COLUMN: INTEGRATED ENERGY SYSTEM WITH MULTI-ENERGY COLLABORATION

- 16 Stackelberg game model for energy management of multiple prosumer aggregators based on bilevel Kriging meta model algorithm
SUN Guoqiang, WANG Shanlei, CHEN Sheng, WU Chen, HU Guowei, ZHOU Yizhou, WEI Zhinong
- 24 Optimal operation of hybrid energy system considering cold ironing based on model predictive control
WANG Wei, ZHANG Xiaoqing, SU Su, LI Zening, WANG Yeting, XIA Dong, WANG Shidan
- 31 Optimal operation of integrated energy microgrid based on leader-follower game and electricity and heat demand response under user-side limited rationality
SHUAI Xuanyue, WANG Xiuli, WU Xiong
- 39 Failure assessment method of integrated electricity and natural gas network considering interdependent characteristics
SU Jieying, DENG Fengqiang, ZHANG Yongjun

SPECIAL COLUMN: ELECTRIC VEHICLE TECHNOLOGY

- 47 Auxiliary frequency regulation control strategy based on virtual synchronous machine for electric vehicles considering user demand
SU Su, LI Jiahao, LI Zening, WANG Yeting, XIA Dong, WANG Shidan
- 56 Multi-objective optimal allocation of DG and EV charging station based on space-time characteristics and demand response
LIU Lijun, WU Tong, CHEN Xianda, ZHENG Wendi, XU Qifeng
- 65 Comprehensive risk assessment of multiple types of electric vehicles connected to distribution network based on principal component analysis method
WANG He, YU Zhongshu, LI Xiaojing, BIAN Jing
- 73 Analysis on impact of large-scale electric vehicles integration based on improved security region of distribution network
ZHAO Huangjiang, XIANG Yue, LIU Junyong, HU Shuai
- 80 Secondary frequency control of multi-energy microgrid with electric vehicles based on fuzzy fractional-order PID
XIANG Leijun, CHEN Hao, GUO Xinhua, YANG Yifan

SUMMARY AND SURVEY

- 92 Overview of wind power participating in frequency regulation control strategy for power system
LIU Hongbo, PENG Xiaoyu, ZHANG Chong, ZHANG Shuyu

ANALYSIS AND RESEARCH

- 99 Intelligent identification method of power grid fault events considering sample classification imbalance
WEI Zhinong, SHI Dongming, ZHANG Ming, SUN Guoqiang, ZANG Haixiang, SHEN Peifeng
- 106 Defense method of smart grid GPS spoofing attack based on improved self-attention generative adversarial network
LI Yuancheng, YANG Shanshan
- 126 Power quality disturbance classification method based on side-output fusion convolutional neural network
WANG Jidong, ZHANG Di
- 119 Interval mode damping enhancement strategy based on global sensitivity
YANG Deyou, ZHAO Kang, WANG Lixin
- 126 Fault line selection method of grounding fault with high resistance in resonant grounding system based on intensive zero-sequence impedance characteristics
SHAO Wenquan, LIU Yihuan, CHENG Yuan, ZHANG Zhihua, CHENG Chang
- 132 Distributed finite-time event-triggered secondary coordinated control of islanded microgrids
ZHOU Jianping, ZHANG Jian, MAO Dajun, GE Xiangyi, YE Jianqiao, FANG Le

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

- 139 Integrated flexible arc suppression method based on multi-variable decoupling control for single-phase grounding fault in distribution network
GUO Moufa, GUO Caihong, ZHENG Zeyin
- 198 High-performance electricity load forecasting under CPU-GPU heterogeneous computing framework
ZHAO Jiahao, ZHOU Gan, HUANG Li, LU Chunyan, TAO Xiaofeng, FENG Yanjun
- 152 False data injection attack scheme of electricity market based on topology tampering
WANG Shengfeng, DING Zhou, WU Jingsong, QIU Aibing
- 159 Recognition method of partial discharge pattern based on double models fusion with D-S evidence combination rule
XU Minrui, LI Yun, LU Shufeng, DOU Xiaobo, CHEN Gang, GUO Jiahao
- 166 Risk assessment of relay protection equipment rejection based on improved state space partitioning method
DING Maosheng, QIAN Sheng, WANG Chao, WANG Qi, TANG Yi

SPECIAL COLUMN: POWER ELECTRONICS APPLICATION

- 173 Fault current limiting modeling and grid-connected operation analysis for magneto-biased superconducting fault current limiter
ZHU Jiahui, WEI Defu, WANG Shuai, QIN Hanyang, ZHU Yidong, YAN Zhiyong, CHEN Panpan, ZHANG Hongjie, YANG Yanfang, ZOU Jun
- 182 First-order active disturbance rejection control and parameter tuning method based on particle swarm optimization for LCL grid-connected inverter
MA Ming, LIAO Peng, CAI Yuxi, LEI Ertao, HE Yingjie
- 189 Capacitor voltage balancing control strategy of hybrid MMC based on second-order harmonic circulation injection method
CAO Xinwei, REN Wenming, WANG Weixin

CLEAN ENERGY

- 198 Expansion planning of transmission network with high proportion of hydropower considering guidance of marketized electricity price signal
WANG Fuyang, LIU Youbo, XU Weiting, GOU Jing, LIU Fang, SU Yunche, LIU Junyong
- 204 Simple fitting method for I - V curve of CIGS thin-film PV cell based on Bezier curve
SHI Nan, ZHU Xianhui, SU Xunwen
- 210 Short-term forecasting method for regional photovoltaic power based on typical representative power stations and improved SVM
ZHANG Yangke, LI Gang, LI Xiufeng

UHV TECHNOLOGY FORUM

- 224 Grounding fault characteristics of converter valve-side and protection strategy in LCC-FHMMC hybrid DC transmission system
LU Shuhao, JIA Xiufang
- 224 Top oil temperature forecasting of UHV transformer based on path analysis and similar time
TAN Fenglei, CHEN Hao, HE Jiahong

《电力自动化设备》部分重点专题汇集

近年来, 结合中国能源与电力领域发展的新形势, 《电力自动化设备》追踪行业热点问题, 陆续推出了诸多重点专题。现整理部分专题信息如下, 欢迎读者参阅。未来《电力自动化设备》亦将继续推出更多热点专题, 敬请关注!



1 面向高比例新能源电力系统的储能规划、调控与运营技术专辑

专题特约主编: 清华大学梅生伟教授、青海大学陈来军教授、华南理工大学朱建全副教授



2 未来能源系统的转型与变革: 低碳与清洁技术专题

专题特约主编: 东南大学顾伟教授、清华大学郭庆来教授、河海大学陈胜副教授



3 中低压直流配用电系统稳定与控制专题

专题特约主编: 天津大学李霞林副教授、天津大学王成山教授、山东理工大学彭克副教授



4 电力系统广义同步稳定性与宽频谐振稳定性专题

专题特约主编: 浙江大学徐政教授



5 区块链技术在能源系统中的应用专题

专题特约主编: 清华大学张宁副教授、上海交通大学陈思捷特别副研究员、清华大学康重庆教授



6 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



7 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



8 “智能电网+”专题

专题特约主编: 河海大学鞠平教授、秦川副教授



9 新能源与新负荷背景下的电网安全专题

专题特约主编: 河海大学鞠平教授、余一平副教授



10 多能协同综合能源系统专题

专题特约主编: 清华大学郭庆来副教授、广州供电局刘育权教授级高工