



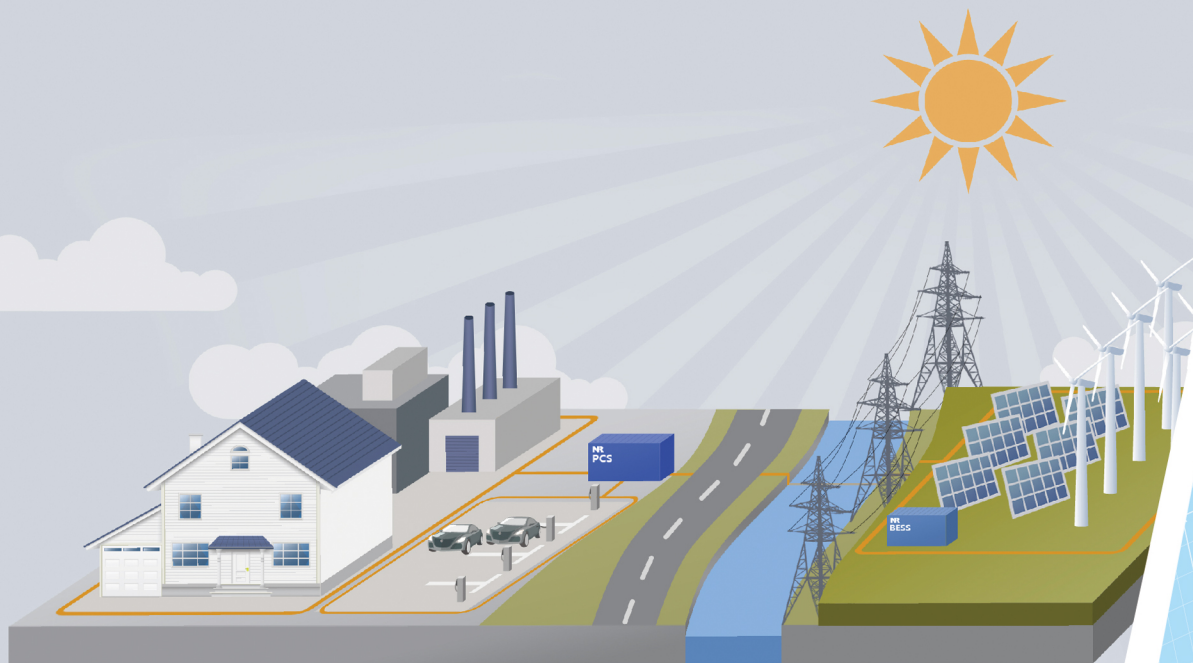
电力自动化设备

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、JST 收录期刊

NR 南瑞继保
NR ELECTRIC

务实 求精 协作 创新
Practice Improvement Cooperation Innovation



更好可控性 更高可用率

南瑞继保PCS-9567储能系统,基于先进的电网控制保护技术、调度监控技术和电力电子技术,可提供全套自主研制的能量管理系统、储能协调控制系统、储能变流器、电池管理系统等储能核心设备。为储能多应用场景提供整体解决方案,包括系统分析、项目可研、系统整体设计集成和EPC服务。南瑞继保储能系统的多机协调控制、集中式一次调频、系统快速响应、黑启动等重要功能为充分发挥储能应用价值提供强有力的技术支持。

南京南瑞继保电气有限公司
南京南瑞继保工程技术有限公司

NR ELECTRIC CO., LTD.
地址 江苏省南京市江宁区苏源大道69号,211102
电话 025-87178911 传真 025-52100511
Market@nrec.com

ISSN 1006-6047



1.2

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

2022 12 月
第42卷 第12期 卷终
Vol. 42 No. 12



电力自动化设备

DIANLI ZIDONGHUA SHEBEI

(月刊,1973年创刊)



12月
2022年

第42卷第12期
(总第344期)
2022年12月10日出版

名誉编委 (按姓氏笔画排序)

王成山 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
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

目次 Contents

多能协同综合能源系统专题

- 1 计及液态空气储能与综合需求响应的综合能源系统低碳经济调度
朱振山, 盛明鼎, 陈哲盛
- 9 电-热综合能源市场下的光热发电商运营优化与决策分析
梁政, 马志程, 魏震波, 周强, 邵冲, 孙舟倍
- 17 局域能源市场多产消者P2P交易框架设计
张凡, 高红均, 吴子豪, 刘俊勇
- 26 独立储能参与调频辅助服务市场机制设计
林阿竹, 柯清辉, 江岳文

清洁能源

- 35 基于高斯混合模型及近似线性规划的风电系统校正控制方法
周海强, 赵春祝, 顾婷艳, 薛峰, 高超, 宋晓芳
- 43 基于功率耦合的双馈风机并网系统同步控制技术
张祥宇, 沈文奇, 黄弘扬, 彭琰, 马骏超, 陆承宇
- 50 直驱风电场实用化等值方法
齐金玲, 李卫星, 晁璞璞, 李志民
- 58 分布函数差异化导向的风电功率预测误差气象条件概率建模方法
刘念璋, 杨健, 柳玉, 姜尚光, 柯德平, 孙元章
- 66 适用于次同步振荡分析的直驱式风电场等值方法
袁赛军, 郝治国, 舒进

微电网专题

- 72 基于分布式拟牛顿法的交流微电网经济运行控制
魏珊珊, 高飞, 俞嘉浩, 蔡位焜, 刘东
- 79 从用户角度出发的开放微电网资源规划及效益分析
陈洋洋, 陆宁, 侯慧, 屈守江
- 87 微电网中感-容性耦合逆变器功率不均等分配策略
曹华珍, 高崇, 许志恒, 潘险险, 邓文扬

电力电子技术应用专题

- 94 一种基于谐波补偿的级联H桥光伏并网逆变器控制策略
袁义生, 朱启航, 吕森, 刘伟, 张执钦

101 基于全绕组拓扑结构的移相变压器建模及应用

李晓华,陈镇生,罗一杰,刘 玮,屠卿瑞

107 基于能量回馈的电力电子变压器软启动策略

聂川杰,熊 飞,陈晓雷,邓钦元,严 冬

115 模拟直流电机调速特性的双向DC/DC变换器虚拟直流电机控制策略

支 娜,明 旭,张林杰,张 辉,张伟亮

122 基于扰动电压定向的自适应电流源侵入式序阻抗测量

杨文莉,马俊鹏,孙瑞婷,王顺亮,赵静波,刘天琪

129 磁阀式电流互感器抗直流特性研究

张哲璇,陈柏超,吴煜文,刘召杰,田翠华,陈耀军

136 考虑多任务剖面及其非工作故障延续性的直流断路器可靠性模型

杨墨缘,欧阳森,张 真,王凤学,王天霖

►► 分析与研究

145 大扰动后正阻尼单机水电系统频率振荡的近似及适应性分析

王嘉伟,熊鸿韬,刘硕博,杨 滢,张建承,庄文彬,华 文,薛安成

151 电力系统小干扰稳定分析的最小特征轨迹法

黄 伟,张清波,许 昊,吴司敏,甘德强

157 基于改进动态时间弯曲距离算法的直流配电网线路纵联保护方案

冉启胜,张 哲,韩杰祥,尹项根,热合曼·玉山,刘玢岩

165 基于零模行波波速量化的高压输电线路双端故障定位方法

王 炜,王全金,尹 力,孙海霞,王 华,侯添钰,梁 睿

171 考虑锁相环角频率变化的单相车网系统动态稳定性分析

喻文倩,刘志刚,张友刚,刘静伟

177 高速铁路弓网离线电弧电磁辐射特性的试验研究

金梦哲,刘尚合,邢 彤,杨才智,刘卫东,方庆园,胡 曼

184 柔性中压直流铁路牵引供电系统分布式协调控制策略

刘芸江,胡海涛,杨孝伟,胡 海,何正友,朱晓娟

191 基于振荡波多特征融合的变压器绕组故障诊断方法

周利军,周 猛,李沃阳,陈田东,吴振宇,王东阳

197 发电机定子单相接地故障下定子铁芯的电弧烧损过程

龚 衡,桂 林,周光厚,杨 勇,王祥珩

204 基于几何关系求解的汽轮发电机定子接地故障定位方法

裴丽秋,杨洪涛,张琦雪,李华忠,许林波,吴礼军,陈 俊

210 基于主成分分析的串联电池组故障诊断实用方法

杨启帆,段大卫,李 楠,张玉良,马宏忠

217 基于电弧故障测试系统的电缆碳化路径分析与判别 杜立伟,许志红

第三届全国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《科技期刊世界影响力指数(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

日本科学技术振兴机构数据库(JST)收录期刊

美国《乌利希期刊指南》(UPD)收录期刊

第七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 王欣竹

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

ISSN 1006-6047

中国标准连续出版物号 CN 32-1318/TM

国际刊名代码(CODEN) DZSHFK



关注微信



访问官网

CONTENTS

SPECIAL COLUMN: INTEGRATED ENERGY SYSTEM WITH MULTI-ENERGY COLLABORATION

- 8 Low-carbon economic dispatching of integrated energy system considering liquid air energy storage and integrated demand response *ZHU Zhenshan, SHENG Mingding, CHEN Zhesheng*
- 16 Operation optimization and decision analysis of CSPS in electricity-heat integrated energy market *LIANG Zheng, MA Zhicheng, WEI Zhenbo, ZHOU Qiang, SHAO Chong, SUN Zhoubei*
- 25 Design of P2P trading framework for multiple prosumers in local energy market *ZHANG Fan, GAO Hongjun, WU Zihao, LIU Junyong*
- 34 Market mechanism design of independent energy storage participating in frequency modulation auxiliary service market *LIN Azhu, KE Qinghui, JIANG Yuewen*

CLEAN ENERGY

- 42 Corrective control method of wind power system based on Gaussian mixture model and approximate linear programming *ZHOU Haiqiang, ZHAO Chunzhu, GU Tingyan, XUE Feng, GAO Chao, SONG Xiaofang*
- 49 Synchronization control technology of grid-connected DFIG system based on power coupling *ZHANG Xiangyu, SHEN Wenqi, HUANG Hongyang, PENG Yan, MA Junchao, LU Chengyu*
- 57 Practical equivalent method for direct-driven wind farm *QI Jinling, LI Weixing, CHAO Pupu, LI Zhimin*
- 65 Probabilistic modeling method of weather condition for wind power forecasting error based on differentiation orientation of distribution function *LIU Nianzhang, YANG Jian, LIU Yu, JIANG Shangguang, KE Deping, SUN Yuanzhang*
- 71 Equivalent method of PMSG-based wind farm suitable for subsynchronous oscillation analysis *YUAN Saijun, HAO Zhiguo, SHU Jin*

SPECIAL COLUMN: MICROGRID

- 128 Economic operation control of AC microgrid based on distributed quasi-Newton method *WEI Shanshan, GAO Fei, YU Jiahao, CAI Weikun, LIU Dong*
- 86 Resource planning and benefit analysis of open microgrid from perspective of users *CHEN Yangyang, LU Ning, HOU Hui, QU Shoujiang*
- 93 Unequal power sharing method for ICI & CCI in hybrid microgrid *CAO Huazhen, GAO Chong, XU Zhiheng, PAN Xianxian, DENG Wenyang*

SPECIAL COLUMN: POWER ELECTRONICS APPLICATION

- 100 Control strategy for cascaded H-bridge photovoltaic grid-connected inverter based on harmonic compensation *YUAN Yisheng, ZHU Qihang, LÜ Sen, LIU Wei, ZHANG Zhiqin*
- 106 Modeling and application of phase-shifting transformer based on full winding topology structure *LI Xiaohua, CHEN Zhensheng, LUO Yijie, LIU Wei, TU Qingrui*
- 114 Soft start strategy of power electronic transformer based on energy feedback *NIE Chuanjie, XIONG Fei, CHEN Xiaolei, DENG Qinyuan, YAN Dong*
- 121 Virtual DC machine control strategy for bidirectional DC / DC converter simulating speed regulation characteristics of DC machine *ZHI Na, MING Xu, ZHANG Linjie, ZHANG Hui, ZHANG Weiliang*

Competent Authorities China Huadian Corporation Ltd.

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

Guodian Nanjing Automation Co., Ltd.

Editor in Chief GUO Xiaojun

Web Site www.epae.cn

E-mail epae@sac-china.com

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

- 128 Intrusive sequence impedance measurement of adaptive current source based on disturbance voltage orientation
YANG Wenli, MA Junpeng, SUN Ruiting, WANG Shunliang, ZHAO Jingbo, LIU Tianqi
- 135 Research on anti DC characteristics of magnetic-valve-type current transformer
ZHANG Zhexuan, CHEN Baichao, WU Yuwen, LIU Zhaojie, TIAN Cuihua, CHEN Yaojun
- 144 Reliability model of DC circuit breaker considering multi mission profiles and its non-operating fault continuity
YANG Moyuan, OUYANG Sen, ZHANG Zhen, WANG Fengxue, WANG Tianlin

ANALYSIS AND RESEARCH

- 150 Approximation and adaptability analysis of frequency oscillation in single hydro-machine power system with positive damping after large disturbance
WANG Jiawei, XIONG Hongtao, LIU Xiaobo, YANG Ying, ZHANG Jiancheng, ZHUANG Wenbin, HUA Wen, XUE Ancheng
- 164 Minimum characteristic loci method for power system small disturbance stability analysis
HUANG Wei, ZHANG Qingbo, XU Hao, WU Simin, GAN Deqiang
- 164 Pilot protection scheme for DC distribution network based on improved dynamic time warping distance algorithm
RAN Qisheng, ZHANG Zhe, HAN Jiexiang, YIN Xianggen, REHEMAN Yushan, LIU Binyan
- 170 Two-terminal fault location method for high-voltage transmission line based on zero-mode traveling wave velocity quantization
WANG Wei, WANG Quanjin, YIN Li, SUN Haixia, WANG Hua, HOU Tianyu, LIANG Rui
- 176 Dynamic stability analysis for single-phase vehicle-grid system considering angle frequency variations of phase-locked loop
YU Wenqian, LIU Zhigang, ZHANG Yougang, LIU Jingwei
- 183 Experimental study of electromagnetic radiation characteristics of pantograph-catenary off-line arcs in high-speed railway
JIN Mengzhe, LIU Shanghe, XING Tong, YANG Caizhi, LIU Weidong, FANG Qingyuan, HU Man
- 190 Distributed coordinated control strategy for flexible medium voltage direct current railway traction power system
LIU Yunjiang, HU Haitao, YANG Xiaowei, HU Hai, HE Zhengyou, ZHU Xiaojuan
- 203 Transformer winding fault diagnosis method based on oscillating wave multi-feature fusion
ZHOU Lijun, ZHOU Meng, LI Woyang, CHEN Tiandong, WU Zhenyu, WANG Dongyang
- 203 Arc burning process of stator core under stator single-phase grounding fault of generator
GONG Heng, GUI Lin, ZHOU Guanghou, YANG Yong, WANG Xiangheng
- 216 Stator grounding fault location method of turbo-generator based on geometric relationship algorithm
PEI Liqiu, YANG Hongtao, ZHANG Qixue, LI Huazhong, XU Linbo, WU Lijun, CHEN Jun
- 216 A practical fault diagnosis method for series-connected battery packs based on principle component analysis
YANG Qifan, DUAN Dawei, LI Nan, ZHANG Yuliang, MA Hongzhong
- 224 Analysis and judgment of cable carbonization path based on arc fault test system
DU Liwei, XU Zhihong

《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 新型电力系统关键技术: 五大动态特性研究专题

专题特约主编: 浙江大学徐政教授



2 新型电力系统关键技术: 广义负荷智能认知与高效调控专题

专题特约主编: 河海大学鞠平教授



3 面向高比例新能源电力系统的储能规划、调控与运营技术专题

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



4 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



5 中低压直流配电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



6 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



7 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



8 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、河海大学孙国强教授



9 “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



10 多能协同综合能源系统专题

专题特约主编: 清华大学郭庆来教授、广州供电局刘育权教授级高工