



# 电力自动化设备

## Electric Power Automation Equipment

核心期刊 《工程索引》(EI)核心期刊 中国科学引文数据库(CSCD)、英国《科学文摘》(SA, INSPEC)、俄罗斯《文摘杂志》(AJ)、美国《剑桥科学文摘》(CSA) 收录期刊

**NR 南瑞继保**  
NR ELECTRIC

务实 求精 协作 创新  
Practice, Improvement, Cooperation and Innovation



Q K 1 8 4 3 3 2 2

## 配电自动化整体解决方案

### 方案概述

南瑞继保配电自动化整体解决方案，基于公司统一的软硬件支撑平台，面向整个配电系统，实现“五个一体化”，有效解决当前配电自动化领域存在的诸多问题，真正推进配电自动化的功能实用性、运行可靠性、技术先进性和运维方便性。

**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**

南京江宁区苏源大道69号 邮编：211102  
网址：[www.nari-relays.com](http://www.nari-relays.com)

电话：025-87178911 52107703  
传真：025-52105511 87178700

ISSN 1006-6047



771006 604189

09>

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

万方数据

**2018 9**  
第38卷 第9期  
Vol.38 No.9



# 电气自动化设备

DIANLI ZIDONGHUA SHEBEI

(月刊,1973年创刊)



## 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 吴復立 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
毕天妹	阮新波 严干贵 严 正 李生虎
李永丽	李庚银 李 斌 李洪春 别朝红
何正友	闵 勇 张 兖 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 嶙 谢少军 蔡泽祥
廖瑞金	廖汉荣 薄志谦 穆 钢 鞠 平
主 编	郭效军

目次  
Contents

### ► “智能电网+”专题

- 1 区域自治型单三相多微电网实时模型预测控制  
刘泽健,杨 莹,许志荣,等
- 9 基于混沌模拟退火粒子群优化算法的电动汽车充电站选址与定容  
艾 欣,李一铮,王坤宇,等
- 15 基于深度学习分位数回归模型的风电功率概率密度预测  
李 彬,彭曙蓉,彭君哲,等
- 21 考虑电压故障类型的光伏逆变器低电压穿越控制策略  
欧阳森,马文杰
- 27 基于机会约束规划的家庭用电设备负荷优化调度方法  
曾 博,蒋雯倩,杨 舟,等
- 34 基于深度学习的用户异常用电模式检测  
赵文清,沈哲吉,李 刚
- 39 考虑负荷纵向随机性的用户用电行为聚类方法  
冯志颖,唐文虎,吴青华,等
- 45 基于随机矩阵理论的电子式互感器误差状态相关性分析方法  
胡 琛,张 竹,焦 洋,等
- 54 三角形级联固态变压器的多直流电压平衡控制  
季振东,孙毅超,金 成,等

### ► 电动汽车技术专题

- 62 考虑移动充电车路径选择和能源补给的充电服务一体化经济调度  
刘 洪,戚博硕,韩震焘,等
- 70 基于试验设计的电动汽车充换电站接入电网的降损研究  
刘新天,尤俊杰,何 耀,等
- 77 考虑电动汽车随机特性的机组组合问题研究  
葛晓琳,裴晨皓

### ► 清洁能源

- 85 提升无功调节能力的双馈式风力发电机转速变模式控制策略  
刘其辉,毛 未,高 瑜

国家科委(90)国科发情字796号文批准

- 93 提高 DFIG 低电压穿越性能的转子 Crowbar 自适应切除控制方法  
姜惠兰,周陶,贾燕琪,等
- 99 光伏电站直流汇集接入系统的建模分析 戴志辉,朱惠君,严思齐,等
- 107 SCESS-DFIG 发电系统宽时间尺度功率波动的平抑控制方法  
孙东阳,孙立志,吴凤江

## ► 分析与研究

- 114 双端行波故障测距装置性能测试方法 冯腾,董新洲
- 121 基于机会约束规划的电-气互联综合能源系统随机最优潮流  
张思德,胡伟,卫志农,等
- 129 多换流器并联的交直流配电网潮流计算方法  
彭克,张聪,陈羽,等
- 135 基于 PWM 波形特征的励磁涌流识别方法 胡松,江亚群,黄纯,等
- 141 自适应陷波理论及其在轴承故障诊断中的应用  
万书亭,张雄,庞彬,等
- 148 基于潮流转移分布熵和负荷冲击灵敏度熵的电力系统关键线路识别  
栗然,靳保源
- 155 基于 WNN-GNN-SVM 组合算法的变压器油色谱时间序列预测模型  
张施令,姚强
- 162 逆变型分布式电源接入对小电阻接地系统馈线零序电流保护的影响  
杨伟涛,曾德辉,汪隆君,等
- 169 岸电建设运营各方成本效益最优化分析及江湖海岸电特性比较  
胡晓青,王蓓蓓,黄俊辉,等
- 179 计及控制设备动作次数约束的三阶段动态无功优化算法  
覃海,姬源,周川梅,等
- 187 基于 Duffing 系统和扩展 Prony 算法的异步电动机转子断条故障检测  
许伯强,王志远
- 192 计及电网节点重要度的变压器检修排序方法  
张宏志,熊卫红,谢志成,等

## ► 探讨与应用

- 198 小电阻接地系统高灵敏性零序电流保护 李海锋,陈嘉权,曾德辉,等
- 205 分布式母线差动保护耐同步误差能力分析 陈雷,高厚磊,樊占峰
- 212 电气化铁路电力贯通线无通道保护方案 林晓鸿,林圣,温曼越,等
- 220 牵引变电站数字化方案的设计与实现 曾庆钊

广告发布登记通知书编号:广登 32010000032

**第三届国家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) 收录期刊**  
**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  
**编辑出版** 国电南京自动化股份有限公司  
**地 址** 电力自动化设备杂志社  
**邮政编码** 南京高新技术产业开发区星火路 8 号  
**社 长** 210032  
**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)  
**传 真** (025)83537349  
**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

ISSN 1006-6047  
**中 国 标 准 连 续 出 版 物 号** CN 32-1318/TM  
**国 际 刊 名 代 号(CODEN)** DZSHFK



关注微信



访问官网

# Electric Power Automation Equipment( EPAE )

Vol.38 No.9 (Sum No.293)

Sept. 2018

## CONTENTS



### SPECIAL COLUMN SMART GRID PLUS

- 8 Real-time model predictive control for regional autonomy multi-microgrid with single-phase/three-phase architecture  
*LIU Zejian, YANG Ping, XU Zhirong, et al.*
- 14 Locating and sizing of electric vehicle charging station based on chaotic simulated annealing particle swarm optimization algorithm  
*AI Xin, LI Yizheng, WANG Kunyu, et al.*
- 20 Wind power probability density forecasting based on deep learning quantile regression model  
*LI Bin, PENG Shurong, PENG Junzhe, et al.*
- 26 Low voltage ride through control strategy of photovoltaic inverter considering voltage fault type  
*OUYANG Sen, MA Wenjie*
- 33 Optimal load dispatching method based on chance-constrained programming for household electrical equipment  
*ZENG Bo, JIANG Wenqian, YANG Zhou, et al.*
- 38 Anomaly detection for power consumption pattern based on deep learning  
*ZHAO Wengqing, SHEN Zheji, LI Gang*
- 53 Users' consumption behavior clustering method considering longitudinal randomness of load  
*FENG Zhiying, TANG Wenhua, WU Qinghua, et al.*
- 53 Error state correlation analysis based on random matrix theory for electronic transformer  
*HU Chen, ZHANG Zhu, JIAO Yang, et al.*
- 61 Multi DC voltages balancing control method for cascaded solid state transformer with delta configuration  
*JI Zhendong, SUN Yichao, JIN Cheng, et al.*



### ELECTRIC VEHICLE TECHNOLOGY COLUMN

- 84 Integrated economic dispatching for charging service considering routing choice and energy supply of mobile charging vehicle  
*LIU Hong, QI Boshuo, HAN Zhentao, et al.*
- 76 Research on power loss reduction considering electric vehicle charging and swapping station based on DOE  
*LIU Xintian, YOU Junjie, HE Yao, et al.*
- 84 Study on unit commitment problem considering stochastic characteristics of electric vehicles  
*GE Xiaolin, PEI Chenhao*



### CLEAN ENERGY

- 92 Variant mode control strategy of rotor speed for DFIG in promoting reactive power adjustment ability  
*LIU Qihui, MAO Wei, GAO Yu*
- 98 Adaptive deactivating control strategy of Crowbar for LVRT capability enhancement of DFIG  
*JIANG Huilan, ZHOU Tao, JIA Yanqi, et al.*
- 106 Modeling and analysis of DC convergence integration system for PV power station  
*DAI Zhihui, ZHU Huijun, YAN Siqi, et al.*
- 113 Smoothing control method of wide time scale power fluctuation for SCESS-DFIG power generation system  
*SUN Dongyang, SUN Lizhi, WU Fengjiang*



### ANALYSIS AND RESEARCH

- 128 Performance test method of two-terminal traveling wave fault locator  
*FENG Teng, DONG Xinzhou*

**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 Press

**Add** 8 Xinghuo Road, Pukou District, Nanjing, China

**Post Code** 210032

**Tel** 86-25-51859278, 83537347, 83537349 (**Fax**)

**E-mail** epae@sac-china.com

- 128 Stochastic optimal power flow of integrated power and gas energy system based on chance-constrained programming  
ZHANG Side, HU Wei, WEI Zhinong, et al.
- 134 Power flow calculation method for AC-DC hybrid distribution network with multi-converter in parallel  
PENG Ke, ZHANG Cong, CHEN Yu, et al.
- 140 Identification of inrush current based on characteristics of PWM waveform  
HU Song, JIANG Yaqun, HUANG Chun, et al.
- 147 Application of adaptive trap theory in bearing fault diagnosis  
WAN Shuting, ZHANG Xiong, PANG Bin, et al.
- 154 Critical line identification of power grid based on power flow transferring distribution entropy and load impact sensitivity entropy  
LI Ran, JIN Baoyuan
- 161 Predicting model of transformer DGA time series based on WNN-GNN-SVM combined algorithm  
ZHANG Shiling, YAO Qiang
- 168 Influence of inverter interfaced distributed generators on zero-sequence current protection for feeder of low resistance grounding system  
YANG Weitao, ZENG Dehui, WANG Longjun, et al.
- 178 Cost-benefit optimization analysis of participants in shore-side power construction and operation and characteristic comparison among river, lake and ocean shore-side power  
HU Xiaoqing, WANG Beibei, HUANG Junhui, et al.
- 186 Three-stage dynamic reactive power optimization algorithm considering constraints of control device action times  
QIN Hai, JI Yuan, ZHOU Chuanmei, et al.
- 197 Detection of broken rotor bar fault of asynchronous motor based on Duffing system and extended Prony algorithm  
XU Boqiang, WANG Zhiyuan
- 197 Transformer maintenance scheduling method considering node importance of power grid  
ZHANG Hongzhi, XIONG Weihong, XIE Zhicheng, et al.

## DISCUSSION & APPLICATION

- 204 High sensitive zero-sequence current protection for low-resistance grounding system  
LI Haifeng, CHEN Jiaquan, ZENG Dehui, et al.
- 211 Analysis of synchronization error enduring capacity of distributed bus-bar current differential protection  
CHEN Lei, GAO Houlei, FAN Zhanfeng
- 219 Non-communication protection scheme for electric railroad power transmission line  
LIN Xiaohong, LIN Sheng, WEN Manyue, et al.
- 223 Design and implementation of smart traction substation digitization  
ZENG Qingzhao

**全方位助力品牌宣传**  
2019年《电力自动化设备》广告火热征订中

**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.epac.cn、微信平台 EPAC-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.epac.cn](http://www.epac.cn) 邮 箱：[fangfang-zhang@sac-china.com](mailto: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型式试验、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

陈若 13811132440

<http://www.ponovo.cn>



"扫一扫"关注北京博电微信号