



电工技术 官方微信

主管单位：重庆西南信息有限公司  
(原科技部西南信息中心)

主办单位：重庆西南信息有限公司  
重庆市电机工程学会

编辑出版：《电工技术》编辑部

协办单位：重庆市电源学会

社长：陈伟

总编：徐书令

#### 编委会(按姓氏拼音排列)

##### 主编：

谢开贵

##### 委员：

白锐 曹永兴 陈艳波 程杉  
董张卓 杜雄 房兆源 郭成  
郝占军 何山 侯兴哲 汲胜昌  
贾科 李辉 李勇 李振华  
李志军 刘健 吕干云 梅生伟  
朴昌浩 齐波 谭向宇 唐震  
王志新 魏钢 杨博 杨国华  
杨仕友 张晓星 张志劲 郑涛  
曾宇

##### 执行委员：

安小宇 陈民武 邓军 樊启高  
郝建 李军徽 李永福 李元  
凌志斌 刘铨 刘刚 刘继权  
刘小康 马辉 马红波 马志钦  
彭庆军 陶果 汪可 王洪彬  
王少华 王小宇 谢旭琛 熊连松  
杨海马 杨涛 伊力哈木·阿尔买买提  
由佳欣 张施令 张锦议 朱孟兆

执行主编：何欣 (023)67039610

编辑部主任：陈胜 (023)67039613

编辑部：(023)63502993

E-mail: diangong@chinaet.net

市场部：(023)67039610

E-mail: matrevhx@sina.com

发行部：(023)63501714

地址：重庆市渝北区洪湖西路18号

邮编：401121

网址：www.chinaet.net

印刷：重庆紫石东南印务有限公司

发行：重庆市邮政局(国内外公开发行)

订阅：全国各地邮局

邮发代号：78-61

每期定价：30.00元 \$5.00

国际标准连续出版物号：ISSN 1002-1388

国内统一连续出版物号：CN 50-1072/TM

广告经营许可证：(渝新两江)广准字(19)第007号

版权所有 不得转载

本刊常年法律顾问：重庆百君律师事务所 刘凡强

律师办公电话：(023)67621818

地址：重庆市渝北区洪湖东路财富大道2号财富A座7楼

凡发表在本刊的文章，若没有特殊声明，均视作者同意将信息网络传播权及转授权授予本刊

如有质量问题，请与重庆紫石东南印务有限公司联系退换

地址：重庆市北碚区蔡家岗镇嘉德大道99号(盈田·蔡家工谷27-2)

邮编：400707

# EE 电工技术

## DIAN GONG JI SHU

半月刊 1980年创刊

2024/18期(总第624期) 2024年9月25日出版

## 目次

### 自动控制

- 1 变压器恒温油浴紧格式无模型自适应控制方法研究  
马广娟 朱贞如 金蕾 等
- 7 PAC溶液制备控制工艺改造分析  
宗广翔
- 10 基于PLC的三相异步电机变频调速系统  
张瑞宽
- 13 面向深度调峰的运行火电机组一次调频控制策略  
潘龙海
- 16 分仓计量数字虚拟秤技术的应用与改进  
赵小聪
- 19 微型逆变器电池最大功率点跟踪控制策略\*  
刘贤群 蒋逢灵
- 23 用于电磁暂态计算的一种高精度快速积分算法  
裴正廷
- 29 真空镀膜设备收放系统用多电机协同控制分析\*  
刘长林 陆艳君 安辉 等

### 新能源系统与设备

- 34 储能电站作用及效益分析  
周军 陈卫东
- 38 风储协同控制参与系统调频研究  
钱阳 查雨欣 周旭峰
- 42 大型锂电池储能系统安全管理与故障预防技术  
唐露陆
- 45 风机应急电源配置方案探讨  
刘莹
- 48 基于PVsyst的斯里兰卡屋顶光伏发电系统设计与分析  
肖伟 张若愚
- 52 考虑荷电状态的储能系统参与电网一次调频控制策略  
范朝峰
- 55 基于电动汽车充电负荷的小区配电网建设改造策略研究  
翟进乾 贾会东 黄延润 等
- 59 基于统计方法的风电光伏功率预测研究  
宋赫宁 宾李恒
- 64 景区停车场光伏发电和充电站一体化设计探讨  
秦国金 史建明 易高明 等
- 67 考虑高比例新能源接入的配电网网架多目标规划方法  
郭子轩 林利祥 马乙歌
- 70 锂电池储能电站火灾典型案例分析及对策探讨  
殷宇强 郑康 邢佳妮
- 73 某风电场次同步振荡事件分析与解决方案研究  
张建 魏激光 万明凯 等
- 77 新型电力系统下的宽频振荡问题  
景晓旻 赵一霖 孔维康 等

### 人工智能与传感技术

- 80 光储充检放智能电站K-means聚类能效计量检测方法  
张杰梁
- 83 基于粗糙集理论的变电站自动化设备检修优先级决策方法  
时文俊

86	机器人在牵引变电所应急操作中的应用*	李彦吉	李祎杨	孙刚	等
91	基于FA-GRU模型的短期电力负荷预测			贾青山	
94	基于深度卷积神经网络的变电站设备故障图像分类方法	陈昌飞	康曦	何振梁	等
97	基于TOPSIS算法的电动汽车充电站运行质量评估	金晨	宋杨	阮庄	等
101	基于混合式改进斑马优化算法的光伏MPPT研究			雷金华	潘成勇
105	基于深度神经网络的电压暂降风险评估	向祝强	刘元煌	赵微	
108	基于循环神经网络的配网用户侧负荷态势感知方法			李扬帆	
112	基于深度学习的配电网NLT检测方法探究			赵广旭	黄小燕
115	基于改进长短期记忆神经网络的光伏功率预测方法研究	卢利军	王军	王浩	等
118	基于人体测量参数的个性化HRTF建模			魏永健	周静雷

## 电力自动化

123	低压用电负荷自动控制关键技术探究			赵敏	
126	基于IEC 61850标准的智能变电站SCL文件验证算法*	王珠峰	孔凡坊	陈培训	等
132	基于宏表单技术的电力行业智能工单监控系统*	陈雅茜	陈金梅	刘威	等
135	基于改进PSO算法的110 kV线路漏电故障监测及线路继电保护研究			史泽亚	任昊
139	基于双系统的变电站信息自动验收手持终端设计与分析	顾春阳	张乐	王浩	
143	基于模态行波时差与聚类算法的配网故障定位方法	肖明	范彧珩	张勇	等
146	基于关键属性的变电设备红外图像数字化管理方法*	罗吕	芦宝娟	苏福明	等
149	面向热带海岛“三高”环境的配电网智能终端运行状态全天候监测			陈峰文	
152	基于可信计算的变电站监控系统网络安全数据采集方法研究	李洪池	汤成俊	高飞	
156	基于网格化配网就地监测终端研制与源荷协调策略研究*	董智	张平	王坤	等
161	微电网中虚拟振荡器控制的参数优化方法*			龚芬	

## 电力设备

166	1000 MW机组锅炉空预器电流波动异常检测		王育洋	于潇	
169	变压器石墨烯涂层片式散热器散热性能研究			陈悦	
172	高压加热器抽汽管道疏水器无法投用缺陷处理	邱波	王玉彬	刘德军	等
176	城市电网中500 kV电缆与GIL输电应用研究探讨	阴玮	韩赛赛	王卫华	等
180	电线电缆导体电阻实验中引入贴片式热电偶的研究			朱进明	
184	智能电表掉零线方案探讨	于莹	付彦灿	樊蕾	等
186	基于改进YOLOv5网络算法的变电站高压电气设备绝缘检测方法研究			汪鹏	
189	计及变比影响的变压器损耗模型研究	范宇航	赵丹阳	李英楠	等
192	融合RF算法与MSCR的变压器内部故障排查及变压器继电保护研究			任昊	史泽亚
196	800 kV GIS中隔离开关小型化仿真分析	敬成伟	王静	崔庆	等
198	一种10 kV环网柜真空断路器合闸弹跳问题的改善研究	汪旭	孙宽来	耿要强	等
201	基于智能矿山的煤矿机电设备数据综合管理系统研发			王勇	

## 系统解决方案

204	计量在线监测联合智能诊断的日电量拟合分析	伍晨豪	黄涛	黄一航	
207	电气化铁路中压直流供电系统			徐倩	
212	火电厂脱硫系统石膏脱水机方案比选	姚瑶	张卫峰	王骞	
215	基于机场运行模式下电气设备母差保护与弧光保护应用的分析	栗志政	段加富	隋广君	等
219	基于关联规则挖掘的输变电工程安全事故分析			张学凯	
222	矿山电气设备在线监测与诊断系统的设计与实现			胡力友	
225	基于状态数据的变电检修中危险点定位方法分析	王琨	狄天拓	张乐蒲	
228	基于移动边缘计算的低压配电网健康状态评价研究	郝元钊	吴豫	苗福丰	等
232	基于价值链分析的火电厂燃煤掺配优化方法			张志春	

# ELECTRIC ENGINEERING

(Automatic Control) No.18

## CONTENTS

### Automatic Control

- 1 Compact Form Model-free Adaptive Control of Oil Bath Temperature of Transformers ..... MA Guangjuan ZHU Zhenru JIN Lei et al
- 7 Process Flow Modification of PAC Solution Preparation and Feeding ..... ZONG Guangxiang
- 10 PLC-based Frequency-conversion Speed Control System for Three-phase Asynchronous Motors ..... ZHANG Ruikuan
- 13 Primary Frequency Regulation Strategy for Operating Thermal Generator Units Facilitating Deep Peak Shaving ..... PAN Longhai
- 16 Application and Improvement of Digital Virtual Scale Technology for Compartmentalized Measurement of Bunkers ..... ZHAO Xiaocong
- 19 Cell Maximum Power Point Tracking Control Strategy for Micro-inverter-based Photovoltaics\* ..... LIU Xianqun JIANG Fengling
- 23 A High Precision Rapid Integral Algorithm for Electromagnetic Transient Calculation ..... PEI Zhengting
- 29 Analysis of Multi-motor Cooperative Control for Push-Pull Systems of Vacuum Coating Apparatuses\* ..... LIU Changlin LU Yanjun AN Hui et al

### New Energy Systems and Equipment

- 34 Analysis on Functions and Benefits of Energy Storage Stations ..... ZHOU Jun CHEN Weidong
- 38 Wind-Storage Collaborative Control-assisted Frequency Regulation of Power Networks ..... QIAN Yang ZHA Yuxin ZHOU Xufeng
- 42 Safety Management and Fault Prevention Technology for Large-scale Lithium Battery Energy Storage Systems ..... TANG Lulu
- 45 Discussion on Configuration of Emergency Power Source for Wind Turbines ..... LIU Ying
- 48 PVSyst-based Design and Analysis of Rooftop PV Apparatus for Sri Lanka Market ..... XIAO Wei ZHANG Ruoyu
- 52 Energy Storage-assisted Power System Primary Frequency Regulation Strategy Considering State of Charge ..... FAN Chaofeng
- 55 Points in Construction and Retrofit of Apartment Complex Distribution Networks Considering Electric Vehicle Charging ..... ZHAI Jinqian JIA Huidong HUANG Yanrun et al
- 59 Statistical Methods-based Power Prediction of Wind and Photovoltaic Generations ..... SONG He NING Bin LI Heng
- 64 Discussion on Integrated Design of Photovoltaic Power Generation and Charging Station in Parking Area ..... QIN Guojin SHI Jianming YI Gaoming et al
- 67 Multi-objective Planning of Distribution Framework Considering High-proportion Integration of New Energy Generations ..... GUO Zixuan LIN Lixiang MA Yige
- 70 Case Analysis and Countermeasure Proposal of Fire Accidents of Lithium Battery Energy Storage Station ..... YIN Yuqiang ZHENG Kang XING Jiani
- 73 Analysis and Countermeasures Proposal of a Case of Subsynchronous Oscillation in an Actual Wind Farm ..... ZHANG Jian WEI Jiguang WAN Mingkai et al
- 77 Broadband Oscillations in New Power Systems ..... JING Xiaomin ZHAO Yilin KONG Weikang et al

### Artificial Intelligence and Sensing Technology

- 80 K-means Clustering-based Energy Efficiency Measurement of PV-Storage-Charge-Inspection-integrated Smart Stations ..... ZHANG Jieliang
- 83 Rough Set Theory-based Priority Decisionmaking for Maintenance of Substation Automation Equipment ..... SHI Wenjun
- 86 Application of Robots in Emergency Operation of Traction Substations\* ..... LI Yanji LI Yiyang SUN Gang et al
- 91 FA-GRU Model-based Short-term Load Forecasting ..... JIA Qingshan
- 94 Deep Convolutional Neural Network-based Method to Classify Fault Images of Substation Equipment ..... CHEN Changfei KANG Xi HE Zhenliang et al
- 97 TOPSIS Algorithm-based Assessment of Operational Quality for Electric Vehicle Charging Stations ..... JIN Chen SONG Yang RUAN Zhuang et al
- 101 Improved Zebra Optimization Algorithm-hybridized Method for Photovoltaic MPPT ..... LEI Jinhua PAN Chengyong
- 105 Deep Neural Networks-based Assessment of Voltage Sag Risks ..... XIANG Zhuqiang LIU Yuanhuang ZHAO Wei

- 108 Recurrent Neural Networks-based User Side Load Situation Perception of Distribution Networks····· LI Yangfan  
 112 Deep Learning-based NTL Detection for Distribution Networks····· ZHAO Guangxu HUANG Xiaoyan  
 115 A Modified LSTM-based Method to Predict Photovoltaic Power····· LU Lijun WANG Jun WANG Hao et al  
 118 Personalized HRTF Modeling Based on Anthropometric Parameters····· WEI Yongjian ZHOU Jinglei

## Power Automation

- 123 Study on Key Technology of Automatic Control of Low-voltage Power Load····· ZHAO Min  
 126 IEC 61850 Standard-based SCL File Verification Algorithm for Smart Substations\*·····  
 ······ WANG Zhufeng KONG Fanfang CHEN Peixun et al  
 132 VBA Sheet-based Intelligent Work Order Management for Electric Industry\*·····  
 ······ CHEN Yaxi CHEN Jinmei LIU Wei et al  
 135 Modified PSO-based Leakage Monitoring and Relay Fault Diagnosis for 110 kV Transmission Lines·····  
 ······ SHI Zeya REN Hao  
 139 Design and Analysis of a Dual-system Handheld Gadget for Automatic Pre-acceptance Checking of Substation  
 Information····· GU Chunyang ZHANG Le WANG Hao  
 143 Distribution Network Fault Location Based on Modal Traveling Wave Time Difference and Clustering Algorithm·····  
 ······ XIAO Ming FAN Yuheng ZHANG Yong et al  
 146 Key Attributes-based Digitized Management of Substation Equipment Infrared Images\*·····  
 ······ LUO Lv LU Baojuan SU Fuming et al  
 149 All-weather Monitoring of Operating Status of Distribution Network Intelligent Terminal in "Three High" Environment  
 of Tropical Islands····· CHEN Fengwen  
 152 Trusted Computing-based Network Security Data Collection for Substation Monitoring Systems·····  
 ······ LI Hongchi TANG Chengjun GAO Fei  
 156 Development of On-site Monitoring Terminal and Source-Load Coordination Strategy for Gridized Distribution  
 Networks\*····· DONG Zhi ZHANG Ping WANG Kun et al  
 161 Parameter Optimization Method for Virtual Oscillator Control in Microgrids\*····· GONG Fen

## Electrical Equipment

- 166 Abnormal Current Fluctuation Detection of Boiler Air Preheater in 1000 MW Units····· WANG Yuyang YU Xiao  
 169 Study on Heat Dissipation Performance of Graphene-coated Chip Radiator for Transformers····· CHEN Yue  
 172 Handling of Inoperability of Extraction Pipeline Steam Traps of High-pressure Heaters·····  
 ······ QIU Bo WANG Yubin LIU Dejun et al  
 176 Engineering Difference Between 500 kV Cable and GIL Transmission Lines in Urban Power Grids·····  
 ······ YIN Wei HAN Saisai WANG Weihua et al  
 180 Study on Introducing Patch-type Thermocouple in Conductor Resistance Test of Wires and Cables····· ZHU Jinming  
 184 Discussion on Handling of Zero Wire Missing of Smart Meters····· YU Ying FU Yancan FAN Lei et al  
 186 Modified YOLOv5-based Insulation Detection for Substation High-voltage Electrical Equipment····· WANG Peng  
 189 Transformation Ratio Impact-considered Transformer Power Loss Model·····  
 ······ FAN Yuhang ZHAO Danyang LI Yingnan et al  
 192 RF Algorithm and MSCR-integrated Internal Fault Diagnosis and Relay Protection for Transformers·····  
 ······ REN Hao SHI Zeya  
 196 Simulative Analysis of Miniaturization of Isolation Switch in 800 kV GIS·····  
 ······ JING Chengwei WANG Jing CUI Qing et al  
 198 Case Practice of Improving Closing Bounce of 10 kV Ring Main Unit Circuit Breaker·····  
 ······ WANG Xu SUN Kuanlai GENG Yaoqiang et al  
 201 Research and Development of Integrated Data Management System for Coal Mine Electromechanical Equipment  
 Based on Intelligent Mine····· WANG Yong

## System Solution

- 204 Fitting Analysis of Daily Electricity Combining Metering Online Monitoring and Intelligent Diagnosis·····  
 ······ WU Chenhao HUANG Tao HUANG Yihang  
 207 Medium-voltage DC Power Supply System for Electrified Railways····· XU Qian  
 212 Comparative Selection of Gypsum Dehydrator for Desulfurization Systems in Thermal Power Plants·····  
 ······ YAO Yao ZHANG Weifeng WANG Qian  
 215 Analysis on Applying Busbar Differential Protection and Arc Protection to Airport Electrical Equipment·····  
 ······ LI Zhizheng DUAN Jiafu SUI Guangjun et al  
 219 Association Rule Mining-based Safety Accident Analysis for Transmission and Transformation Projects·····  
 ······ ZHANG Xuekai  
 222 Design and Implementation of Online Monitoring and Diagnosis System for Mining Electrical Equipment····· HU Liyou  
 225 State Data-based Dangerous Point Location for Substation Maintenance····· WANG Kun DI Tiantuo ZHANG Lepu  
 228 Mobile Edge Computing-based Health Assessment of Low-voltage Distribution Networks·····  
 ······ HAO Yuanzhao WU Yu MIAO Fufeng et al  
 232 Value Chain Analysis-based Optimization of Coal Feeding Proportion for Thermal Power Plants····· ZHANG Zhichun