

# 电工技术

## ELECTRIC ENGINEERING



### 2023/2

# CHNT

正泰仪表

## 4大提升

计量  
更精准

安装  
更便捷

外观  
更新颖

绿色  
节能

### 电能表/数显表/导轨表



## 正泰系列 领先每一步 仪表系列产品 可靠新高度

浙江正泰仪器仪表有限责任公司 400-817-7777 <http://im.chint.com>

ISSN 1002-1388



9 771002 138237



欢迎关注正泰仪表官方微信



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 铖 刘 刚 刘继权  
刘小康 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·亚尔买买提  
由佳欣 张施令 张镜议 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： 重庆渝北区洪湖东路2号

邮编： 401121

网址： www.chinaet.net

印刷： 重庆东辰印务有限公司

发行： 重庆东辰印务有限公司

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

自动控制

半月刊 1980年创刊

2023/2期(总第584期) 2023年1月25日出版

## 目 次

### 自动控制

- 1 基于ESP8266的磁吸附爬壁机器人控制系统研究\* 陈弘毅 王庆燕 吴嘉锐
- 4 基于STM32的X型六旋翼飞行器的设计\* 罗 伟 王艳华 强国栋
- 8 散货料场设备的集中管控系统 刘晓虹 李 娜 赵旭东等
- 11 主汽温度10 min内下降超50 °C跳机保护在Symphony Plus S+系统的实现与应用 刘 伟

### 新能源系统与设备

- 14 电动汽车充电负荷预测及有序充电控制策略研究 张艳娟
- 17 榆林地区油田伴生气分布式发电相关研究\* 刘 恒 贾 嵘 梁 岩
- 21 基于改进PSO算法的光伏阵列MPPT研究\* 李 昂 高春阳 刘文锋等
- 25 基于灰色关联度分析法的锂电池多因素综合性能研究 葛露娟 吴永乐
- 29 微电网并离网平滑切换控制策略研究 刘景霞 王硕秋

### 人工智能与传感技术

- 32 基于小波去噪的BP神经网络短期风功率预测方法设计\* 王跃龙 张 燕 韩志惠等
- 36 基于深度学习的指针式仪表识别算法研究\* 李 佳 段祥骏 李运硕等
- 40 基于导波的结构健康监测 张凯旋 马帅旗

### 电力自动化

- 45 基于改进人工蜂群算法的SVG综合补偿容量优化研究 和 鹏 许荣彪 段军鹏等
- 49 基于数据挖掘的电力系统网络安全漏洞识别方法 吕国曙 鞠 磊
- 52 考虑需求响应及电能交互的多微电网优化调度 周 磊 明庆永 袁 全
- 56 一种变压器短路试验CT二次回路自动校验装置及系统\* 张 勇 江清楷 王华佑等

- 58 静电感应法在线测量煤粉速度\*
- 60 MMC-BESS交直流功率控制研究\*
- 65 含高比例分布式电源配电网谐波治理策略\*
- 69 一种能应用于多场景下的计时计量软件
- 72 基于Python软件的故障录波数据分析
- 74 基于多维数据模型的电力调控系统应用研究
- 77 基于储能的微电网电能质量治理研究综述
- 80 多端线路电流差动保护实现故障定位及测距的新方法

陈茗 胡边 李靖  
 陈满 彭鹏 李勇琦等  
 李文竹 寇汉鹏 曹阳等  
 孔伟阳 马楠桦  
 丁煜飞 夏寅宇 汪缪凡等  
 于洋洋  
 王耿耿 徐泽 袁全  
 熊军 赵志宏 杨卉卉等

## 电力设备

- 85 断路器机构箱二次元件安装板减振固定装置研制与应用
- 89 基于Qt的天轮智能润滑系统电控设计\*
- 92 数字型动作计数器不停电检修改进方法研究与应用
- 94 输电线路金具连接用防脱螺栓的研究
- 97 一种新型手持式防坠器的研制
- 99 基于ANSYS的800 kV GIS母线用盆式绝缘子机械强度分析
- 102 气体继电器干簧管破裂故障分析与对策
- 104 单相计量装置电源及抗干扰功能设计
- 107 基于智能型嵌入式电动执行机构控制器设计
- 109 高压隔离开关多体动力学仿真及力矩特性研究\*
- 116 林区生态观测站光储单元协调控制器设计\*
- 123 基于电子齿轮的振动台研究及实现
- 126 通用型跌落式熔断装置的研究及应用
- 129 直流变压器功率阀组设计
- 133 某型直流充电桩充电枪解锁电路优化
- 135 某核电厂不同通风系统中碘吸附器内活性炭寿命探究

陈伟明 李新海 曾新雄等  
 路向阳 宋冬冬 张雪茵等  
 陈翔 姚钊泓 温嘉晔等  
 刘禹涵 钱骁 赵玮  
 张晏铭 戴桂林 谈欢欢等  
 崔庆 谢文刚 刘传贺等  
 魏金清 甄卫国 梁刚  
 徐京生 肖琪经 司浩天  
 乔磊  
 曾力勇 王俊 张乐萌等  
 曹慧颖 刘素梅 谢丽霞等  
 汤海天 张奇之 马亚农等  
 刘健  
 顾志斌 李林 姚宁等  
 黄灿锋 王知宇 黄峰铭  
 陈晓飞 刘爱明 管正刚等

## 系统解决方案

- 138 换流站电动消防泵启泵试验爆管原因分析及改进措施
- 140 核电厂辅助变压器零差保护误动作原因分析
- 143 基于改进灰狼算法的多操纵面无人机在线路检测中的可行性研究\*
- 147 基于灰色模型的变电运维倒闸操作风险预测研究
- 150 基于信号处理的滚动轴承故障诊断
- 153 基于改进粒子群算法的综合能源系统经济优化运行
- 158 经电阻接地系统风电场接地变压器保护的整定
- 162 岳西供电公司线损管理中智能电表数据采集异常小结
- 164 配电网项目可研深度优化策略研究
- 167 分布式光伏电能质量问题的影响及治理方法\*
- 171 基于ETAP的液流电池储能电站的谐波分析与抑制
- 175 可视化监控在核电厂热态性能试验期间防烫伤中的应用
- 178 低压台区线损异常分析及处理流程\*
- 181 多功率源的用电信息采集台区组网模拟系统
- 184 变电站无人机碰撞试验研究
- 187 火力发电厂热控保护装置检修方法

潘立邦 颜志敏 李浩东  
 沈红 段琰璞 倪爽  
 杨博 陈鹏 赵庆周等  
 王鹏  
 王政 赵娟  
 李斌 李岩 刘佳鑫  
 曲文浩 秦海停  
 何彬 汪磊 周著兵等  
 周宪  
 吴庆 王飞 周涛等  
 魏锡年  
 陈帅江 周梦雄  
 郑成源 李波 廖耀华  
 韩周 赵伟 孟海川等  
 苏健宏 吴梓源 黄昱翰等  
 马连彬

# ELECTRIC ENGINEERING

(Automatic Control) No.2

---

## CONTENTS

### Automatic Control

- 1 Research on Control System of Magnetic Adsorption Wall-Climbing Robot Based on ESP8266\* ..... CHEN Hongyi WANG Qingyan WU Jiarui  
4 Design of X-type Six Rotor Aircraft Based on STM32\* ..... LUO Wei WANG Yanhua QIANG Guodong  
8 Centralized Control System for Bulk Yard Equipment ..... LIU Xiaohong LI Na ZHAO Xudong et al  
11 Implementation and Application of Trip Protection in Symphony Plus S+ System when the Temperature of the Main Steam Turbine Drops over 50 °C within 10 Minutes ..... LIU Wei

### New Energy Systems and Equipment

- 14 Research on Charging Load Prediction and Orderly Charging Control Strategy for Electric Vehicles ..... ZHANG Yanjuan  
17 Research on Distributed Generation of Associated Gas in Yulin Area\* ..... LIU Heng JIA Rong LIANG Yan  
21 Research on MPPT of Photovoltaic Array Based on Improved PSO Algorithm\* ..... LI Ang GAO Chunyang LIU Wenfeng et al  
25 Study on Multi-factor Comprehensive Performance of Lithium Battery Based on Grey Correlation Analysis ..... GE Lujuan WU Yongle  
29 Study on Smooth Switching Control Strategy for Grid Connection and Off-grid ..... LIU Jingxia WANG Shuoqiu

### Artificial Intelligence and Sensing Technology

- 32 Design of BP Neural Network Short-term Wind Power Prediction Method Based on Wavelets Denoising\* ..... WANG Yuelong ZHANG Yan HAN Zhihui et al  
36 Research on Pointer Instrument Recognition Algorithm Based on Deep Learning\* ..... LI Jia DUAN Xiangjun LI Yunshuo et al  
40 Structural Health Monitoring Based on Guided Wave ..... ZHANG Kaixuan MA Shuaiqi

### Power Automation

- 45 Research on Optimization of SVG Comprehensive Compensation Capacity Based on Improved Artificial Bee Colony Algorithm ..... HE Peng XU Rongbiao DUAN Junpeng et al  
49 Network Security Vulnerability Identification Method for Power System Based on Data Mining ..... LV Guoshu JU Lei  
52 Optimal Dispatch of Multi-microgrid Considering Demand Response and Power Interaction ..... ZHOU Lei MING Qingyong YUAN Quan  
56 An Automatic Calibration Device and System for CT Secondary Circuit of Transformer Short Circuit Test\* ..... ZHANG Yong JIANG Qingkai WANG Huayou et al  
58 On-line Measurement of Pulverized Coal Velocity by Electrostatic Induction Method\* ..... CHEN Ming HU Bian LI Jing  
60 Research on AC/DC Power Control of MMC-BESS\* ..... CHEN Man PENG Peng LI Yongqi et al  
65 Harmonic Control Strategy of Distribution Network with High Proportion of Distributed Power Generation\* ..... LI Wenzhu KOU Hanpeng CAO Yang et al  
69 A Timing Measurement Software that Can Be Applied in Multiple Scenes ..... KONG Weiyang MA Nanhua  
72 Analysis of Fault Recording Data Based on Python ..... DING Yufei XIAYinyu WANG Miaofan et al  
74 Application Research on Power Regulation and Control System Based on Multidimensional Data Model ..... YU Yangyang  
77 Review of Power Quality Governance of Microgrid Based on Energy Storage ..... WANG Genggeng XU Ze YUAN Quan  
80 Novel Method of Multi-Terminal Line Current Differential Protection for Fault Location and Location ..... XIONG Jun ZHAO Zhihong YANG Huihui et al

## Electrical Equipment

- 85 Development and Application of a Vibration Reduction Fixing Device for Secondary Element Mounting Plate of Circuit Breaker Mechanism Box.....CHEN Weiming LI Xinhai ZENG Xinxiong et al
- 89 Design of Electronic Control of Head Sheave Intelligent Lubrication System Based on Qt\* ..... LU Xiangyang SONG Dongdong ZHANG Xuehan et al
- 92 Research and Application of Improved Method of Digital Action Counter Maintenance Without Power Failure ..... CHEN Xiang YAO Zhaohong WEN Jiaye et al
- 94 Research on the Anti-shedding Bolt for the Connection of Power Transmission Line Fittings ..... LIU Yuhan QIAN Xiao ZHAO Wei
- 97 Development of a Novel Hand Held Anti Fall Device ..... ZHANG Yanming DAI Guilin TAN Huanhuan et al
- 99 Mechanical Strength Analysis of Basin Insulator for 800 kV GIS Busbar Based on ANSYS ..... CUI Qing XIE Wengang LIU Chuanhe et al
- 102 Failure Analysis and Countermeasure of Reed Tube Breaking of Gas Relay..... WEI Jinqing ZHEN Weiguo LIANG Gang
- 104 Design of Power Supply and Anti-interference Function of Single-phase Metering Device ..... XU Jingsheng XIAO Qijing SI Haotian
- 107 Design of Intelligent Electric Actuator Controller Based on Embedded System.....QIAO Lei
- 109 Research on Multi-body Dynamics Simulation and Torque Characteristics Analysis of High-voltage Disconnecter\*..... ZENG Liyong WANG Jun ZHANG Lemeng et al
- 116 Design of Coordinated Controller of Photovoltaic Storage Unit of Forest Ecological Observation Station\* ..... CAO Huiying LIU Sumei XIE Lixia et al
- 123 Research and Implementation of Vibration Table Based on Electronic Gear..... TANG Haitian ZHANG Qizhi MA Yanong et al
- 126 Research and Application of Universal Drop-Type Melting Tube Device ..... LIU Jian
- 129 Design of DC Transformer Power Valve Group..... GU Zhibin LI Lin YAO Ning et al
- 133 Optimization of Unlocking Circuit of a DC Charging Pile Charging Gun..... HUANG Canfeng WANG Zhiyu HUANG Fengming
- 135 Study on the Life of Activated Carbon in Iodine Adsorber in Different Ventilation Systems of a Nuclear Power Plant ..... CHEN Xiaofei LIU Aiming GUAN Zhenggang et al

## System Solution

- 138 Cause Analysis and Improvement Measures of Pipe Burst in Starting Test of Electric Fire Pump in Converter Station ..... PAN Libang YAN Zhimin LI Haodong
- 140 Analysis of Misoperation of Zero Difference Protection for Auxiliary Transformer in Nuclear Power Plant..... SHEN Hong DUAN Yanpu NI Shuang
- 143 Feasibility Study of Multi-Control Surface UAV in Line Detection Based on Improved Gray Wolf Algorithm\*..... YANG Bo CHEN Peng ZHAO Qingzhou et al
- 147 Research on Switching Operation Risk Prediction of Substation Operation and Maintenance Based on Grey Model ..... WANG Peng
- 150 Rolling Bearing Fault Diagnosis Based on Signal Processing ..... WANG Zheng ZHAO Juan
- 153 Economic Optimization Operation of Integrated Energy System Based on Improved Particle Swarm Optimization Algorithm..... LI Bin LI Yan LIU Jiabin
- 158 Setting of Grounding Transformer Protection in Wind Farm Resistance Grounding System... QU Wenhao QIN Haiting
- 162 Summary of Abnormal of Intelligent Meter Data Collection in Line Loss Management of Yuexi Power Supply Company..... HE Bin WANG Lei ZHOU Zhubing et al
- 164 Research on In-depth Optimization Strategy of Distribution Network Project Feasibility Study..... ZHOU Xian
- 167 The Impact and Treatment Methods of Distributed Photovoltaic Power Quality Problems\* ..... WU Qing WANG Fei ZHOU Tao et al
- 171 Analysis and Treatment of Harmonic Wave in Energy Storage Power Station Adopted Liquid Flow Redox Cell Base on ETAP ..... WEI Xinian
- 175 Application of Visual Monitoring in Scald Prevention During Thermal Performance Test in Nuclear Power Plant ..... CHEN Shuaijiang ZHOU Mengxiong
- 178 Analysis and Processing of Abnormal Line Loss in Low-voltage Station Area\* ..... ZHENG Chengyuan LI Bo LIAO Yaohua
- 181 Networking Simulation System for Multi-power Source Power Consumption Information Acquisition in Station Area ..... HAN Zhou ZHAO Wei MENG Haichuan et al
- 184 Research on Collision Test of UAV in Substation ..... SU Jianhong WU Ziyuan HUANG Yuhan et al
- 187 Intelligent Fusion Fault Diagnosis Method for Boiler in Thermal Power Plant..... MA Lianbin