



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·  
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 电力电气 电工技术 DIAN GONG JI SHU

半月刊 1980年创刊

2024/15期(总第621期) 2024年8月10日出版

## 目次

### 理论研究

- 基于自适应混合粒子群算法的分布式馈线故障定位  
李巍 王柏浩 武嶺 等
- 基于深度学习的变压器负载预测研究  
王文文 刘阳升
- 车载DC-DC电源变压器结构优化设计  
方晓锋 陆颖 王者 等
- 大规模新能源与常规机组汇集送出的稳定性研究  
岳龙飞
- 基于BP神经网络的板带轧机液压HGC状态监测方法  
赵庆浩 荆丰伟 刘恒文
- 基于GD32的无刷直流电机双路驱动器设计  
李振杰 柯敬禹 周滔 等
- 基于改进YOLO v5s的轻量化高压开关柜识别模型研究  
赵应禄 杨德浩 张娟 等
- 基于滑模负载扰动观测器的USV永磁同步推进电机模糊自适应控制\*  
罗鹏 赵红 张忠伍 等
- 基于新能源接入的新型交直流储能单元配电网规划方法研究  
张轩瑞 周婧
- 基于时域模型的CLLC谐振变换器参数优化设计方法\*  
梁奇峰 庄武良
- 电磁搅拌变流器抑制IGBT驱动窄脉宽研究  
彭鹏 任驰 胡璐 等
- 三相五柱电力变压器铁心振动模态研究  
李鑫 徐建源 曹辰 等
- 一种双L型抗偏移无线传能线圈及谐振网络电路  
李志文 葛思顺 马川 等
- 受控源电路拟独立源分析法与运放电路三层级解算法  
朱明 朱嘉慧

### 输配电工程

- 大理局±500 kV金中直流线雷击跳闸分析  
何桐波 胡宗华 张华晟 等
- 高烈度地震区角钢格构式变电构架地震响应分析  
陈寅 姜文 张凯
- 基于Transformer系列模型的高压线铁塔区域沉降预测方法\*  
赵玉妹 王大鹏 王昭然 等
- 基于地理标记图像的输电线路烟火三维可视化定位方法  
潘波 曲进 宋雯雯
- 基于配电自动化的开闭所便携式合环母线电压快速监测装置\*  
裴超 王大磊 马晓 等
- 基于改进Canny算法的拉线塔拉线边缘检测算法  
陈庆鹏 郑武略 张鑫
- 基于深度强化学习的配电网无功电压控制策略研究  
陶用伟 朱勇
- 决策树算法对多功能电力电缆巡检装置的检测准确性优化  
陈慧 张小美 简李凯

- 98 基于配电网开关死区故障的改进馈线自动化处理方法  
 102 临近电施工作业安全距离预警系统研制  
 106 配电网无功补偿优化控制对分布式光伏线路电压的影响  
 109 数据中心供配电系统可用性分析  
 112 基于模糊PID的配电网多设备运行协同控制研究

陆静文 张云飞  
 陈 昊 吴浩民 程艺茹 等  
 何 锋 鲁济星 韩 琼 等  
 申 星 金福林 商静一 等  
 高洪岩

## 电气设备

- 116 高压开关柜散热装置可拆卸式结构的设计  
 119 变电站无人机巡检工作及应用探索  
 124 基于超声波的水轮机顶盖螺栓应力监测技术研究\*  
 126 断路器传动系统及运动部件的优化  
 129 非晶合金电机铁心加工与关键技术研究综述  
 133 基于变频节能技术的煤矿机电设备运行优化方法  
 137 基于PSCAD/EMTDC的核电厂辅助变压器空载分闸瞬态仿真分析  
 140 基于决策树的制冷设备电子电路故障智能检测方法  
 143 基于有限元的220 kV变电站电气设备在线监测方法研究  
 146 基于枝节回收的石墨烯三次谐波倍频器的研究\*  
 148 集贤站注气压缩机上电及应用  
 152 某矿山电修厂电机试验线数字化改造  
 156 现浇混凝土墙体内部的暗装配电箱箱体安装施工工法  
 160 一起发电机定子接地保护动作引起机组跳闸事件的分析  
 162 一起35 kV金属氧化物避雷器受潮故障分析  
 166 一种含水冷框架的功率柜结构设计方法  
 170 600 MW直接空冷系统智能在线测温系统设计  
 176 电力行业EMC检测之浪涌抗扰度试验不确定度评定实例分析  
 179 GIS中典型缺陷引起的局部放电的固有特征研究

谭洋洋 蔡 川 宋 颖 等  
 宁 庆 竺 德 付启明 等  
 乔海山 唐 磊 王齐飞 等  
 刘传贺 敬成伟 史 鑫 等  
 黎宝梁 邓晗静 龙云峰 等  
 张军飞  
 段琰璞 倪 爽  
 韩彩娟  
 吴文兵  
 陈会丽 张针海 康思惠 等  
 张连勇 张凯龙 刘海涛  
 贾永红 李 壮 刘林风 等  
 宁 辰  
 余 虎  
 张 恒 田 禄 周 秀 等  
 张恒禹 许崇福 马小安 等  
 黄胤翰  
 袁望星 汤志颖 赵金玉 等  
 徐英花 吴勇峰

## 高压与绝缘技术

- 182 基于FTIR的复合绝缘子憎水迁移性研究\*  
 187 消除输电线路绝缘定相试验中强感应电的方法研究  
 190 特高压GIL热特性分析  
 193 GB/T 11022新旧标准主要技术差异对比  
 197 直流特高压架空分裂导线延长杆温度异常原因分析  
 202 基于DSP的高压直流输电系统自适应触发角补偿控制方法

付以贤 宋香涛 王 蔚  
 吴胥阳 赵禹来 曾华坤  
 汤会增 相黎阳 张倩旭 等  
 张晓菁 张震锋 王彦峰 等  
 胡应华 郑 凯 李 鑫 等  
 段文学 惠世贤 谭武光

## 智能通信技术

- 204 DLMS规约在智能电表中的应用探讨  
 207 基于CAN-FD总线的数据传输和同步处理机制的研究  
 210 一种无源螺栓连接结构松动失效RFID监测的标签天线设计\*  
 215 智能物联网断路器的空中下载升级技术研究  
 218 北斗、GPS卫星授时在电力系统时间同步装置中的应用

尹章专 马粉莲 林维敏 等  
 臧 佳 霍银龙 陈从靖  
 游 超 吴晓翠 杨 武 等  
 高 平 沙德雷 徐 明  
 孙 攀 陈貽馨 李培宜 等

## 发电厂

- 221 重庆某抽水蓄能电站并网安全自动装置配置与实施\*  
 226 核电厂主泵变频器非预期停运故障分析与处理  
 229 大修后安全壳泄漏率报警原因分析及处理  
 232 WWER堆型核电特种门气密性在役检测技术

熊治富 王健峰 郑代林 等  
 倪 爽 段琰璞 项洪一  
 郭晓龙 陈 灿 蒋 翔 等  
 戴文霞

# ELECTRIC ENGINEERING

(Electric Power) No.15

## CONTENTS

### Theoretical Research

- 1 Adaptive Hybrid Particle Swarm Optimization-based Distributed Feeder Fault Location..... LI Wei WANG Baihao WU Ling et al
- 7 Study on Deep Learning-based Transformer Load Forecasting..... WANG Wenwen LIU Yangsheng
- 10 Structural Optimization of Transformer of Vehicle Mounted DC-DC Power Source..... FANG Xiaofeng LU Ying WANG Zhe et al
- 14 Study on Stability of Concentrated Output Coordinating Large-scale New Energy Generations and Conventional Generations..... YUE Longfei
- 17 BP Neural Network-based Hydraulic HGC State Monitoring for Plate and Strip Rolling Mills..... ZHAO Qinghao JING Fengwei LIU Hengwen
- 21 GD32-based Dual-driver Design of Brushless DC Motors..... LI Zhenjie KE Jingyu ZHOU Tao et al
- 27 Modified YOLO v5s-based Lightweight Identification Model for High-voltage Switchgears..... ZHAO Yinglu YANG Dehao ZHANG Juan et al
- 33 Fuzzy Self-adaptive Control of USV Permanent Magnet Synchronous Propulsion Motor Based on Sliding Mode Load Disturbance Observer\*..... LUO Peng ZHAO Hong ZHANG Zhongwu et al
- 38 New Method of Planning Distribution Networks Containing AC/DC Energy Storage Units in the Context of New Energy Generation-integrated Grids..... ZHANG Xuanrui ZHOU Jing
- 41 Time Domain Model-based Parameter Optimization Design of CLLC Resonance Converters\*..... LIANG Qifeng ZHUANG Wuliang
- 46 Study on Suppressing Narrow Pulse Width Activation of IGBT in Electromagnetic Stirring Converters..... PENG Peng REN Chi HU Lu et al
- 50 Study on Vibration Mode of Three-phase and Five-column Power Transformer..... LI Xin XU Jianyuan CAO Chen et al
- 55 A Double L-shaped Anti-offset Wireless Power Transmission Coil and Resonant Network Circuit..... LI Zhiwen GE Enshun MA Chuan et al
- 58 Quasi-independent Source Analysis Method for Controlled Source Circuit and Three-level Solution Method for Operational Amplifier Circuit..... ZHU Ming ZHU Jiahui

### Power Transmission and Distribution Engineering

- 70 Analysis on Lightning Trip of Dali Bureau  $\pm 500$  kV Jinzhong Direct Current Line..... HE Tongbo HU Zonghua ZHANG Huasheng et al
- 73 Seismic Response Analysis of Angle Lattice Gantry in High Intensity Seismic Regions..... CHEN Yin JIANG Wen ZHANG Kai
- 76 Transformer Series Models-based Prediction Settlement of High-voltage Line Tower Areas\*..... ZHAO Yumei WANG Dapeng WANG Zhaoran et al
- 81 Geotagging Image-based 3D Visualized Fireworks Location for Transmission Lines..... PAN Bo QU Jin SONG Wenwen
- 84 Portable Rapid Monitoring Device of Closed Loop Bus Voltage for Switching Stations Facilitating Distribution Automation\*..... PEI Chao WANG Dalei MA Xiao et al
- 87 Modified Canny Algorithm-based Edge Detection Algorithm of Guyed Tower..... CHEN Qingpeng ZHENG Wulue ZHANG Xin
- 92 Deep Reinforcement Learning-based Reactive Power Voltage Control Strategy for Distribution Networks..... TAO Yongwei ZHU Yong
- 95 Optimization of Detection Accuracy of Multifunctional Power Cable Inspection Device Using Decision Tree Algorithm..... CHEN Hui ZHANG Xiaomei LIN Likai
- 98 Improved Distribution Network Feeder Automation by Effective Handling of Switch Dead Zone Faults..... LU Jingwen ZHANG Yunfei
- 102 Development of Safety Distance Warning System for Near-electricity Construction Work..... CHEN Hao WU Haomin CHENG Yiru et al
- 106 Impact of Reactive Power Compensation Optimized Control in Distribution Networks on Line Voltage of Distributed Photovoltaics..... HE Feng LU Jixing HAN Qiong et al
- 109 Availability Analysis of Power Supply and Distribution System for Data Centers..... SHEN Xing JIN Fulin SHANG Jingyi et al
- 112 Fuzzy PID-based Multi-equipment Collaborative Control for Distribution Networks..... GAO Hongyan

### Electrical Equipment

- 116 Design of Detachable Structure of High-voltage Switchgear Radiator..... TAN Yangyang CAI Chuan SONG Ying et al

119	Drone-assisted Substation Inspection and Its Applicative Practice·····	NING Qing ZHU De FU Qiming et al
124	Study on Technological Selection of Ultrasonic Based Stress Monitoring for Top Cover Bolts of Hydraulic Turbines* ·····	QIAO Haishan TANG Lei WANG Qifei et al
126	Optimization of Circuit Breaker Transmission System and Moving Components ·····	LIU Chuanhe JING Chengwei SHI Xin et al
129	Summary of Research on Processing and Key Technologies of Amorphous Alloy Motor Core·····	LI Baoliang DENG Hanjing LONG Yunfeng et al
133	Operation Optimization Method of Mechanical and Electrical Equipment in Coal Mine Based on Frequency Conversion and Energy Saving Technology ·····	ZHANG Junfei
137	PSCAD/EMTDC-based Transient Simulation Analysis of No-load Opening of Nuclear Plant Auxiliary Transformers ·····	DUAN Yanpu NI Shuang
140	Decision Tree-based Intelligent Detection of Electric Circuit Faults in Refrigerating Equipment ·····	HAN Caijuan
143	Research on Online Monitoring Method of Electrical Equipment in 220 kV Substation Based on Finite Element Method ·····	WU Wenbing
146	Study on Graphene-based Third Harmonic Multiplier with Branch Recovery Structure* ·····	CHEN Huili ZHANG Zhenhai KANG Enhui et al
148	Initial Electrification and Application of Gas Injection Compressor at Jixian Station ·····	ZHANG Lianyong ZHANG Kailong LIU Haitao
152	Digitalization Retrofit of Motor Testing Line in an Actual Mining Electric Repair Station·····	JIA Yonghong LI Zhuang LIU Linfeng et al
156	Installation Method of Concealed Distribution Boxes in Cast-in-situ Concrete Walls ·····	NING Chen
160	Analysis of a Case of Undesired Trip of an Actual Generator Unit Caused by Action of Stator Grounding Protection ·····	YU Hu
162	Analysis of a Damp Fault Encountered by an Actual 35 kV Metal Oxide Arrester ·····	ZHANG Heng TIAN Lu ZHOU Xiu et al
166	Structural Design of Water-cooled Frame-contained Power Cabinet ·····	ZHANG Hengyu XU Chongfu MA Xiaoran et al
170	Design of Intelligent Online Temperature Measurement System for 600 MW Direct Air Cooling System ·····	HUANG Yinhan
176	Case Analysis of Uncertainty Evaluation in Surge Immunity Test for EMC Testing in the Power Industry ·····	YUAN Wangxing TANG Zhiying ZHAO Jinyu et al
179	Analysis of Inherent Characteristics of Partial Discharge Caused by Typical Defects in GIS ·····	XU Yinghua WU Yongfeng

## High Voltage and Insulation Technology

182	FTIR-based Investigation on Hydrophobic Migration of Composite Insulators* ·····	FU Yixian SONG Xiangtao WANG Wei
187	Study on the Method of Eliminating Strong Induced Current in Insulation Phasing Test of Transmission Lines ·····	WU Xuyang ZHAO Yulai ZENG Huakun
190	Thermal Characteristics Analysis of Ultra-high Voltage GIL ·····	TANG Huizeng XIANG Liyang ZHANG Qiangxu et al
193	Comparasion of Main Technical Differences Between the Latest GB/T 11022 and Its Previous Edition ·····	ZHANG Xiaojing ZHANG Zhenfeng WANG Yanfeng et al
197	Analysis on the Abnormal Temperature of the Extension Poles of DC Extra High Voltage Overhead Split Conductors ·····	HU Yinghua ZHENG Kai LI Xin et al
202	DSP-based Adaptive Trigger Angle Compensation Control for HVDC Transmission Systems ·····	DUAN Wenxue HUI Shixian TAN Wuguang

## Intelligent Information and Communications Technology

204	Discussion on the Application of DLMS Protocol in Intelligent Electricity Meters ·····	YIN Zhangzhuan MA Fenlian LIN Weiqiao et al
207	Study on Data Transmission and Synchronous Processing Mechanism Based on CAN-FD bus ·····	ZANG Jia HUO Yinlong CHEN Congjing
210	Design of a RFID Tag Antenna for Monitoring Loosening and Failure of Passive Bolt Connection Structures* ·····	YOU Chao WU Xiaocui YANG Wu et al
215	Study on Over-the-Air Download and Upgrade Technology of Intelligent IoT Circuit Breakers ·····	GAO Ping SHA Delei XU Ming
218	The Application of Beidou and GPS Satellite Timing in Power System Time Synchronizers ·····	SUN Pan CHEN Yiao LI Peiyi et al

## Power Plant

221	Configuration and Implementation of Automatic Safety Devices for a Pumped Storage Power Station Connected to Chongqing Power Grid* ·····	XIONG Zhifu WANG Jianfeng ZHENG Dailin et al
226	Analysis and Treatment of Unexpected Outage of VFD in Nuclear Power Plant ·····	NI Shuang DUAN Yanpu XIANG Hongyi
229	Analysis and Treatment of Post-overhaul Containment Leakage Rate Over-threshold Alarm ·····	GUO Xiaolong CHEN Can JIANG Xiang et al
232	The Technology of In-service Measurement of Air-tightness for Special Gates in WWER Nuclear Plants ·····	DAI Wenxia