

服务 • 品牌 • 创新

中国核心期刊(遴选)数据库 CNKI中国学术期刊网络出版总库 中文科技期刊数据库 中国期刊方阵期刊

ISSN1002-1388  
CN50-1072/TM

# 电工技术

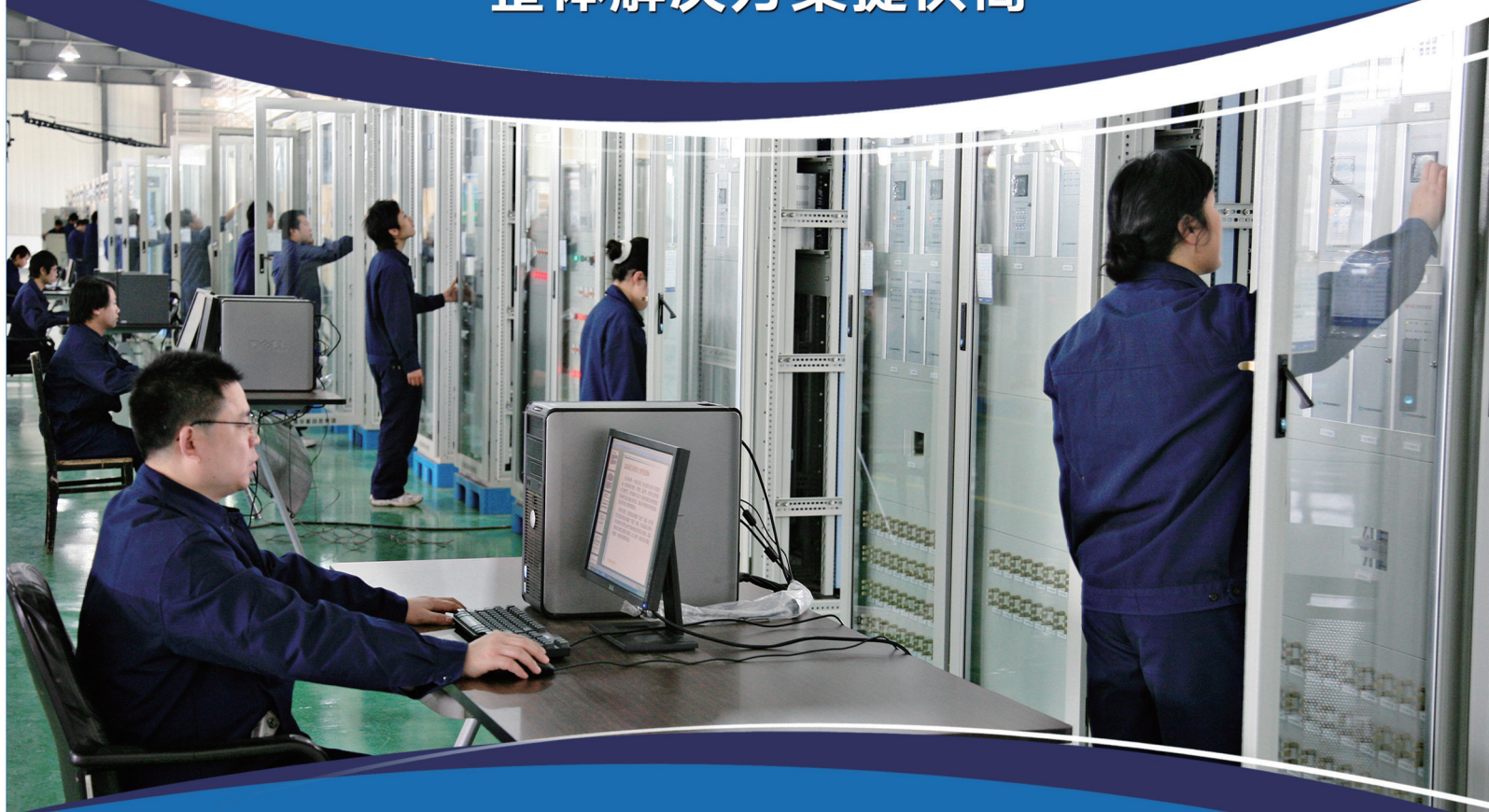
## ELECTRIC ENGINEERING



### 2022/7

### HINAC 华自科技

## 具有总包能力的电力自动化 整体解决方案提供商



方案设计



产品制造



设备安装



增值服务



华自科技股份有限公司 (股票简称: 华自科技 股票代码: 300490)

HINAC TECHNOLOGY CO., LTD.

电话: 0731-88238888转8402

网址: www.cshnac.com 邮箱: hnac@cshnac.com

地址: 湖南省长沙市高新区麓谷麓松路609号

关注官方微信号, 回复“杂志”赢礼品!

ISSN 1002-1388



9 771002 138220

0.7>

电  
工  
技  
术

2022年  
第7期

总第565期



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:

李剑

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	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	凌志斌
刘铨	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	张锦议	朱孟兆	

执行主编: 何欣 (023)67039621

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

邮发代码: 78-61

每期定价: 20.00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

2022/7期(总第565期) 2022年4月10日出版

## 目次

### 理论研究

- 1 基于STATCOM的风电并网系统故障特性研究  
陆佳怡 董晓玲 王德林
- 6 基于TRIZ理论电容器的优化设计及其可靠性分析\*  
许天宝 王少杰 彭建伟 等
- 10 输电线路导线最小设计间距理论公式研究及参数化验证\*  
陈科技 张跃龙 楼文娟 等
- 16 基于暂态行波电流方向的电缆故障研究  
陈海涛 朱道俊 杨振邦
- 20 基于有限元的变流器功率单元辐射电磁干扰仿真分析\*  
李天择 陈恒林
- 25 区域配电网三相线损测试研究  
吕炳霖 王鹏
- 27 基于串并联混合结构的动态电压恢复器研究  
祁琦 王宇 盛晓东 等
- 31 考虑充裕条件下变压器模糊状态可靠性评估  
李芳方 崔文婷 周雪松 等
- 34 依托模糊综合评判的变电设备状态评估研究  
吴金其 朱俊峰
- 37 液压式波浪能发电装置日电能输出量预测  
宁光涛 梁亚峰 李琳玮 等
- 40 基于GA-BP神经网络冷热电联供系统的负荷预测  
王玥 鞠振河 汤梓涵
- 43 配电变压器绕组短路电动力的暂态特征分析\*  
张海强 黄凯 张述杰 等

### 输配电工程

- 47 免登杆遥控电动操作接地线夹装置的研制及应用  
蒋文东 周永胜 杨玉国 等
- 49 乌东德与滇西北共用接地极线对直流输电系统影响研究\*  
徐攀腾 朱博 喻文翔 等
- 54 各国架空导线设计风荷载计算对比分析  
赵良滔 曾建江 曹亮 等
- 57 关于电力电缆桥架安装抗震支架临界规格的分析  
宁辰 秦立鹏 单丽鹏
- 62 基于无功补偿技术的配电网低电压问题治理的研究  
李昊鹏
- 64 配电线路支盘扩底桩风振响应分析  
刘玉峰 翁兰溪 周书亮
- 69 直流配电网电能质量综合评估\*  
付光杰 周禹彤 褚思琦 等
- 74 绝缘杆作业法用无电报警装置设计  
刘欣宇



- 76 架空输电线雨淞覆冰研究\*  
 81 交叉互联电缆对故障工频电流的影响研究  
 85 无人机技术在电力线路规划场建补偿费评估中的应用研究

王东东 周超 马御棠 等  
 王全恒 纪方玺 范志鹏 等  
 胡圣祥 王世峻 张乐群 等

## 电气设备

- 88 电能计量装置继电器控制算法及实现  
 90 水平旋转式隔离开关鸟害现象分析及防鸟措施研究  
 93 CT断线判据在母线保护中的应用分析  
 95 一起220 kV弹簧机构断路器合后即分故障与分析  
 98 一种电力电容器远程监控平台实现的可行性分析  
 100 电力电子机柜内部温度优化分析  
 103 充气柜KEM-40.5双隔离结构的设计  
 105 某高压变电站35 kV母线PT频繁烧毁及炸裂故障分析  
 108 某站滤波电容器单元的研制  
 111 LW15型断路器气动机构压力异常缺陷分析及改进措施  
 114 基于振动声学的变电站开关类设备在线监测技术\*  
 116 10 kV开关拒分原因分析及整改措施  
 119 220 kV团结智能变电站交换机柜散热系统改进研究  
 123 变频器驱动双电机谐波状态估计方法

徐京生 卢玉凤 薛洪春 等  
 夏拓 周立辉 张杰武  
 宋桂娥 李瑞 胡宝 等  
 阮畅 张伟 黄高诚  
 陈绮琪 欧晓妹 李兰茵 等  
 高飞 孟佳 施金奎 等  
 李敏 王军委 王峰  
 潘婉玉  
 黄桂发 吴秀荣  
 胡晓曦 周铁 谭成林 等  
 梁煜健 肖勇 邱龙 等  
 杨次 王星  
 肖星 李新海 王振刚 等  
 蒋芳华

## 高压与绝缘技术

- 127 一种可控避雷器的晶闸管开关介绍与应用\*  
 130 基于高原环境下断路器触头对温升试验的影响分析  
 133 高压跌落式熔断器过零延时灭弧结构设计  
 135 选相控制器在±500 kV换流站交流滤波器断路器的应用分析  
 139 与电缆直连的110 kV电力变压器外施耐压试验方法研究  
 141 影响空气绝缘隔离开关开合容性小电流试验中恢复电压保持时间因素的研究  
 146 特高压换流站调相机系统控制策略分析

谢乌龙 宋戈 丁峰峰 等  
 王桂龙 齐磊  
 朱浩祎 马龙 李俐莹 等  
 李毅 侯谭松 李道豫 等  
 严鹏志 黄涛 雷志城  
 李博 李强 杨涛 等  
 鲁国飞 黄华 王佳宁 等

## 发电厂

- 152 某水电厂机组异常动作原因检查及分析  
 154 微波消解-ICP-OES应用于核电厂凝汽器热阱淤泥中主要金属元素的分析方法研究\*  
 156 电动机保护误发接地报警的原因分析及处理  
 159 CPR1000核电汽轮机出力下降的原因分析及缓解措施  
 161 某核电机组汽轮机汽水分离再热器系统运行优化实践  
 164 挂治水电站#2机停机过程中桨叶反馈故障原因分析及处理  
 166 M701F4单轴联合循环机组热态启动中压汽包水位控制优化  
 170 常规岛汽轮机高压调节阀油动机阀杆咬死处理

肖瑞  
 林清湖  
 孙玉朋 蒋军 刘争光 等  
 陈星玥 高原 林御臣  
 龚贵辉 龚帅 黄盼  
 陆才旺  
 张慧军 许正武  
 樊向松 郑东宏 吴勇

## 电机

- 173 核电站电动机带载试车中过负荷故障原理及分析  
 176 一起发电机端部引线振动异常升高的分析及处理  
 178 水轮发电机组动平衡试验研究应用  
 181 发电机同源核相方法简述  
 183 华龙一号汽轮发电机组考核试验方案优化分析

杜兆楠  
 苏小军  
 屈伟强 程科林  
 宋大伟  
 林御臣 高原 陈星玥 等

## 智能信通技术

- 186 基于物联网5G技术的特高压串补控保系统智能试验装置  
 190 区块链技术在输变电设备状态量采集系统中的应用研究

陈凯 郭凯 王卓 等  
 李程 林志成 郭磊 等

# ELECTRIC ENGINEERING

(Electric Power) No.7

## CONTENTS

### Theoretical Research

- 1 Research on Fault Characteristics of Wind Power Integrated System Based on STATCOM..... LU Jiayi DONG Xiaoling WANG Delin  
6 Optimization Design and Reliability Analysis of Capacitors Based on TRIZ Theory\*..... XU Tianbao WANG Shaojie PENG Jianwei et al  
10 Study on Theoretical Equation of Minimum Design Clearance Distance of Grounding Wire in Transmission Line and Its Parametric Verification\* ..... CHEN Keji ZHANG Yuelong LOU Wenjuan et al  
16 Research on Cable Fault Based on Transient Traveling Current Direction..... CHEN Haitao ZHU Daojun YANG Zhenbang  
20 Simulation Analysis of Electromagnetic Interference Radiated by Converter Power Unit Based on Finite Element Method\* ..... LI Tianze CHEN Henglin  
25 Research on Three-Phase Line Loss Test of Regional Distribution Network ..... LV Binglin WANG Peng  
27 Study on Dynamic Voltage Restorer Based on Series Parallel Hybrid Structure ..... QI Qi WANG Yu SHENG Xiaodong et al  
31 Reliability Evaluation of Transformer Fuzzy State Considering Abundant Conditions ..... LI Fangfang CUI Wenting ZHOU Xuesong et al  
34 Research on Condition Evaluation of Substation Equipment Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation..... WU Jinqi ZHU Junfeng  
37 Prediction of Electric Energy Output of Hydraulic Wave Energy Generating Device ..... NING Guangtao LIANG Yafeng LI Linwei et al  
40 Ga-BP Neural Network Based Load Prediction of Combined Cooling Heating and Power Energy Supply System ..... WANG Yue JU Zhenhe TANG Zihan  
43 Analysis of Transient Characteristics of Short Circuit Electromotive Force of Distribution Transformer Winding\* ..... ZHANG Haiqiang HUANG Kai ZHANG Shujie et al

### Power Transmission and Distribution Engineering

- 47 Development and Application of Remote Control Electric Ground Wire Clamp Device Without Climbing Pole ..... JIANG Wendong ZHOU Yongsheng YANG Yuguo et al  
49 Research on the Influence of the Common Ground Electrode Line Between Wudongde and Northwest Yunnan on the HVDC Transmission System\* ..... XU Panteng ZHU Bo YU Wenxiang et al  
54 Comparison and Analysis of Design of Wind Load Calculation for Overhead Conductors in Various Countries..... ZHAO Liangtao ZENG Jianjiang CAO Liang et al  
57 Analysis of Critical Specifications of Seismic Brackets for Power Cable Tray Installation ..... NING Chen QIN Lipeng SHAN Lipeng  
62 Research on Low Voltage Control of Distribution Network Based on Reactive Power Compensation Technology ..... LI Haopeng  
64 Analysis of Wind Vibration Response of Expanded Bottom Pile in Distribution Line ..... LIU Yufeng WENG Lanxi ZHOU Shuliang  
69 Comprehensive Evaluation of Power Quality of DC Distribution Network\* ..... FU Guangjie ZHOU Yutong CHU Siqi et al  
74 Design of Non-electric Alarm Device for Insulating Pole Operation Method ..... LIU Xinyu  
76 Research on Rime Icing of Overhead Transmission Lines\* ..... WANG Dongdong ZHOU Chao MA Yutang et al  
81 Study on the Influence of Cross-interconnection Cable on Fault Power Frequency Current ..... WANG Quanheng JI Fangxi FAN Zhipeng et al  
85 Research on the Application of UAV Technology in the Evaluation of Site Construction Compensation for Power Line Planning ..... HU Shengxiang WANG Shijun ZHANG Lequn et al

### Electrical Equipment

- 88 Relay Control Algorithm and Realization of Electric Energy Metering Device ..... XU Jingsheng LU Yufeng XUE Hongchun et al  
90 Analysis of Bird Damage Phenomenon and Prevention Measures of Horizontal Rotary Disconnection Switch ..... XIA Tuo ZHOU Lihui ZHANG Jiewu  
93 Application Analysis of CT Disconnection Criterion in the Bus Protection ..... SONG Guie LI Rui HU Bao et al

- 95 Analysis of a 220 kV Spring Mechanism Circuit Breaker Instant Open after Closing Failure..... RUAN Chang ZHANG Wei HUANG Gaocheng  
 98 Feasibility Analysis of a Remote Monitoring Platform for Power Capacitor ..... CHEN Qiqi OU Xiaomei LI Lanyin et al  
 100 Optimization Analysis of Internal Temperature of Power Electronic Cabinet ..... GAO Fei MENG Jia SHI Jinkui et al  
 103 Design of Double Isolation Structure for Inflatable Cabinet KEM-40.5 ..... LI Min WANG Junwei WANG Feng  
 105 Analysis of Frequent Burning and Burst Failure of 35 kV Bus PT in a High Voltage Substation ..... PAN Wanyu  
 108 Development of Filter Capacitor Unit in a Station ..... HUANG Guifa WU Xiurong  
 111 Analysis of Abnormal Pressure Defects in Pneumatic Mechanism of LW15 Circuit Breaker..... HU Xiaoxi ZHOU Tie TAN Chenglin et al  
 114 On-line Monitoring Techniques for Switch Apparatus in Power Station Based on Vibrational-Acoustics\* ..... LIANG Yujian XIAO Yong DI Long et al  
 116 Cause Analysis and Rectification Measures of 10 kV Switch Refusing to Open..... YANG Ci WANG Xing  
 119 Improvement of Cooling System for Switch Cabinet in 220 kV Tuanjie Smart Substation ..... XIAO Xing LI Xinhai WANG Zhengang et al  
 123 Harmonic State Estimation Method of Dual-motor Driven by Frequency Converter ..... JIANG Fanghua

## High Voltage and Insulation Technology

- 127 Introduction and Application of Thyristor Switch for Controllable Arrester\* ..... XIE Niaolong SONG Ge DING Fengfeng et al  
 130 Analysis of Influence of Circuit Breaker Contact on Temperature Rise Test in Plateau Environment ..... WANG Guilong QI Lei  
 133 Design of Zero Crossing Delay Arc Extinguishing Structure of High Voltage Drop Fuse ..... ZHU Haoyi MA Long LI Liying et al  
 135 Analysis of the Phase-selection Controller for AC Filer Breaker in  $\pm 500$  kV Converter Station ..... LI Yi HOU Tansong LI Daoyu et al  
 139 Research on Withstand Test Method for 110 kV Transformer Directly Connected to the Cable ..... YAN Pengzhi HUANG Tao LEI Zhicheng  
 141 Study on Factors Affecting Recovery Voltage Holding Time in Capacitive Current Switching Test of Air Insulated Disconnecter ..... LI Bo LI Qiang YANG Tao et al  
 146 Control Strategy Analysis of the Synchronous Condenser in UHV Converter Station ..... LU Guofei HUANG Hua WANG Jianing et al

## Power Plant

- 152 Cause Inspection and Analysis of Abnormal Operation of Unit in a Hydropower Plant ..... XIAO Rui  
 154 Research on Application of Microwave Digestion-ICP-OES to Analysis of Main Metal Elements in Sludge from Condenser Heat Traps in Nuclear Power Plants\* ..... LIN Qinghu  
 156 Cause Analysis and Treatment of False Grounding Alarm in Motor Protection ..... SUN Yupeng JIANG Jun LIU Zhengguang et al  
 159 Causes Analysis and Mitigation Measure for Output Decline of CPR1000 Nuclear Steam Turbine ..... CHEN Xingyue GAO Yuan LIN Yuchen  
 161 Operation Optimization Practice of Steam-Water Separation Reheater System for Steam Turbine in a Nuclear Power Unit ..... GONG Guihui GONG Shuai HUANG Pan  
 164 Cause Analysis and Treatment of Blade Feedback Fault During Shutdown of #2 Generator in Guazhi Hydropower Station ..... LU Caiwang  
 166 Optimization of Dump Water Level Control for M701F4 Uniaxial Combined Cycle Unit in Hot State Start-up and Medium Pressure ..... ZHANG Huijun XU Zhengwu  
 170 Rod Jamming Treatment of Hydraulic Servo Motor of High Pressure Regulating Valve of Steam Turbine in Conventional Island ..... FAN Xiangsong ZHENG Donghong WU Yong

## Motor

- 173 Principle and Analysis of Overload Failure in on Load Test of Motor in Nuclear Power Plant ..... DU Zhaonan  
 176 Analysis and Treatment of an Abnormal Vibration Rise of Generator End Lead ..... SU Xiaojun  
 178 Research and Application of Dynamic Balance Test of Hydro-generator Unit ..... QU Weiqiang CHENG Kelin  
 181 Brief Introduction of Homologous Nuclear Phase Method for Generator ..... SONG Dawei  
 183 Optimization Analysis of Assessment and Test Scheme for HRP1000 Steam Turbine Generator ..... LIN Yuchen GAO Yuan CHEN Xingyue et al

## Intelligent Information and Communications Technology

- 186 Intelligent Test Device of UHV Series Compensation Control and Protection System Based on 5G Technology of Internet of Things ..... CHEN Kai GUO Kai WANG Zhuo et al  
 190 Application of Blockchain Technology in State Quantity Acquisition System of Power Transmission and Transformation Equipment ..... LI Cheng LIN Zhicheng GUO Lei et al