



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:**

曹永兴	董张卓	杜雄
房兆源	侯兴哲	汲胜昌
李辉	李勇	李志军
刘健	吕干云	梅生伟
朴昌浩	谭向宇	唐震
王志新	杨国华	杨仕友
张晓星	张志劲	郑涛

**执行委员:**

陈民武	邓军	郝建
李军徽	李永福	刘刚
刘继权	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	杨涛	张施令
张懿议	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

**邮发代号:** 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

2021/19期(总第553期) 2021年10月10日出版

## 目次

### 专栏: 电力人工智能关键技术及应用

- 1 一种基于机器学习的冲击负荷建模方法 宋磊 许静 刁瑞朋 等
- 7 基于云技术的继电保护自动测试应用研究 陈伟 余财波 肖梁贤
- 11 强耦合主配一体化智能调度控制系统建设方案适应性分析  
史清芳 唐卫华 刘胜利 等
- 14 电厂物联网智能云配电技术研究 王昊 谭江平 杨源
- 17 特高压直流电子式互感器阶跃特性智能化测试技术研究  
武建卫 邵剑峰
- 21 新一代机器学习技术在大规模光伏系统无人机智能运维中的应用\*  
李云桥
- 24 电网检修计划经济性优化方法及应用 周宁 陈爽 刘伟 等
- 27 基于梯度提升树的覆冰条件下线路跳闸风险评估\*  
李鑫 盛雨秋 朱可凡 等
- 30 基于VMD和PSO-SVM模型的和应涌流识别  
赵学文 付泽宇 李乐 等
- 35 基于无人机混编机场的架空线路自动巡检  
杨磊 周小红 谢春 等

### 理论研究

- 39 Matpower仿真软件在电网电压调整中的应用 周伟昆
- 42 改善直流换相失败的储能STATCOM技术仿真研究  
徐志 奚鑫泽 卢佳
- 47 基于目标网架的配电网综合评价方法 杨彪 王若洁 陈璇
- 51 基于频域复插值的谐波和间谐波测量方法\* 段锐敏 郭成
- 55 单相并联有源电力滤波器直流侧电压控制的研究\*  
张宝山 贺建华 崔洁 等
- 59 半桥型电磁炉逆变器PFM-APWM混合调功策略  
童天渠 李玉玲 高宏
- 62 薄弱电网地区电气化铁路谐波谐振研究\*  
郭小敏 王俊 唐力 等
- 67 基于GaN HEMT的MHz LLC直流变压器的设计\*  
徐康 马红波 林冬武
- 72 模块化多电平换流器的参数自适应非线性控制方法  
李强 马鹏程 饶建国 等
- 76 长定子双馈直线电机电磁计算与有限元分析  
黄虹云 毛源发 王滢 等
- 80 基于储能单元的级联Buck-Boost变换器及其控制方法\*  
张闻 朱斌 李科 等
- 85 地下电缆不同排列方式与载流量下温度场计算及其应用分析  
张灏 刘仁江 叶梓茂

- 88 基于MQ系列气体传感器的一种单片机数据处理算法 钟志万  
 90 钢芯铝绞线用硬铝线电阻率测量不确定度评定与分析 胡振兴 刘玉凤 李传增 等

## 输配电工程

- 93 柔性直流输电工程限流电阻过热问题分析 王康  
 97 500 kV输电线路OPGW光缆断股原理及分析 梁栋  
 100 馈线自动化系统运行状态在线评估技术研究 沈学辉  
 102 220 kV升压站母线PT二次回路接地故障分析及处理措施 张小伟 朱建华 李冬冬

## 电气设备

- 106 基于电气相连状态的一、二次系统故障自动区分方法研究 赖天德 王世祥  
 109 110 kV变电站备自投装置启动失灵故障分析 陆文钦 吴晨媛  
 111 一种电缆本体恢复技术及应用研究 左涛 周应庆 汤晓东 等  
 113 电力电子技术通用实验箱的设计与实现\* 陈超 陈小元 周洪强 等  
 116 220 kV输电线路直流融冰快速短接装置的研制 潘光辉 张琦 兰海 等  
 119 冷冻机软启动导致上级开关跳闸的故障分析与处理 步祯祯 汤倩 刘光远 等  
 122 电热式智能电机综合保护器的研究 宋江波 宗鸣  
 125 一起线路接地引起主变开关跳闸的事故分析 吴晨媛 陆文钦  
 128 海上风电场滤波装置型式及参数研究 戴琦伟 殷贵 傅春翔 等

## 高压与绝缘技术

- 130 10 kV配电变压器雷电过电压频率特性研究 周尚明  
 134 单芯电力电缆金属护套环流计算及分析\* 覃喜 刘燕平 周文俊 等  
 138 特高压直接地极线路电动越障双线飞车设计与研制 章兵 吴奇伟  
 141 热老化对EPDM电树枝局放特性的影响研究 陈祖祥 田志强 张梦楠 等  
 147 高海拔地区400 kV变电站屋外配电装置的选择与布置方案 王乙斐 欧阳友  
 149 SF<sub>6</sub>及其分解产物SO<sub>2</sub>的拉曼光谱检测试验研究\* 钱国超 彭庆军 邹闰培 等

## 发电厂

- 154 某电厂AVC异常调节原因分析与改进措施 郑泽银  
 157 核电厂数字化仪表控制系统设备鉴定方法 张媛媛  
 159 核电厂柴油发电机逻辑试验后开展满功率试验的可行性 胡彪  
 162 管卡改进在核电厂仪表管振动治理中的运用研究 林信桐 李海煌  
 164 RPN系统探测器检修项目管理分析 卢建 朱鹏飞 佟浩  
 169 火电机组进相运行引起失磁保护动作事故分析 刘玮  
 171 极端海水水质下实现SO<sub>2</sub>达标排放燃煤选用探究 赵潇明 阎路 张晓阳 等  
 173 核电站应急柴油机启动蓄电池1E级鉴定研究 陈富杰  
 177 田湾核电站设备可靠性分级技术方法及应用 赵国辉 韩伟 周哲俊 等  
 179 海外“华龙一号”(HPR1000)核电厂电源切换装置的原理及应用 宋成洋 洪琪旭 曹望刚 等

## 电机

- 182 定子无磁轭轴向磁通永磁电机不同极数下的转矩分析 易鹏飞 彭兵  
 186 基于Simulink的带式输送机PMSM控制研究\* 杜贤羿 郭慧文 王昭林  
 189 笼型异步电机全压启动条件的探讨 李建文  
 194 长定子空芯绕组双边双馈直线电机特性研究 张文会 刘学龙 刘世杰 等  
 198 重水堆核电厂大气释放阀维修策略和方法优化 王浩 张小辉 金泽 等

# ELECTRIC ENGINEERING

(Electric Power) No.19

## CONTENTS

### Key Technology and Application of Electric Power Artificial Intelligence

- 1 An Impact Load Modeling Method Based on Machine Learning.....SONG Lei XU Jing DIAO Ruipeng et al  
7 Application Research of Relay Protection Automatic Test Based on Cloud Technology.....  
.....CHEN Wei YU Caibo XIAO Liangxian  
11 Adaptability Analysis of the Construction Scheme of Strong Coupling Main Distribution Integrated Smart Dispatching  
and Control System.....SHI Qingfang TANG Weihua LIU Shengli et al  
14 Research on the Intelligent Cloud Power Distribution Technology Based on Power Plant Internet of Things.....  
.....WANG Hao TAN Jiangping YANG Yuan  
17 Research on Intelligent Test Technology of Step Characteristics of UHVDC Electronic Transformer.....  
.....WU Jianwei SHAO Jianfeng  
21 Application of New Generation Machine Learning Technology in Intelligent Drone Operation and Maintenance of Large-  
scale Photovoltaic Power System\*.....LI Yunqiao  
24 Economic Optimization Method and Application of Power Grid Maintenance Plan.....  
.....ZHOU Ning CHEN Shuang LIU Wei et al  
27 Risk Assessment of Line Trip under Icing Condition Based on Gradient Boosting Decision Tree\*.....  
.....LI Xin SHENG Yuqiu ZHU Kefan et al  
30 Sympathetic Inrush Current Identification Based on VMD and PSO-SVM Model...ZHAO Xuewen FU Zeyu LI Le et al  
35 Automatic Inspection of Overhead Lines Based on Drone Marshalling Aviation.....  
.....YANG Lei ZHOU Xiaohong XIE Chun et al

### Theoretical Research

- 39 Application of Matpower Simulation Software in Power Grid Voltage Adjustment.....ZHOU Weikun  
42 Simulation of Energy Storage STATCOM to Improve HVDC Commutation Failure.....XU Zhi XI Xinze LU Jia  
47 Comprehensive Evaluation Method of Distribution Network Based on Target Grid.....  
.....YANG Biao WANG Ruojie CHEN Xuan  
51 Harmonic and Inter-harmonic Measurement Method Based on Complex Interpolation in Frequency Domain\*.....  
.....DUAN Ruimin GUO Cheng  
55 Research on DC-side Voltage Control of Single-phase Shunt Active Power Filter\*.....  
.....ZHANG Baoshan HE Jianhua CUI Jie et al  
59 PFM-APWM Hybrid Power Regulation Strategy for Half-Bridge Induction Cooker Inverter.....  
.....TONG Tianqu LI Yuling GAO Hong  
62 Research on Harmonic Resonance of Electrified Railway in Weak Grid Area\*.....  
.....GUO Xiaomin WANG Jun TANG Li et al  
67 Design of GaN-based MHz LLC DC Transformer\*.....XU Kang MA Hongbo LIN Dongwu  
72 Parametric Adaptive Nonlinear Control Method for Modular Multilevel Converters.....  
.....LI Qiang MA Pengcheng RAO Jianguo et al  
76 Electromagnetic Calculation and Finite Element Analysis of Long Stator Doubly-fed Linear Motor.....  
.....HUANG Hongyun MAO Yuanfa WANG Ying et al  
80 Cascaded Buck-Boost Converter Based on Energy Storage Unit and Its Control Method\*.....  
.....ZHANG Wen ZHU Bin LI Ke et al  
85 Temperature Field Calculation and Its Applied Analysis for Underground Cables at Different Arrangements and Current-  
carrying Capacities.....ZHANG Hao LIU Renjiang YE Zimao  
88 Data-processing Algorithm by MCU Based on MQ Series Gas Sensor.....ZHONG Zhiwan  
90 Evaluation and Analysis of Uncertainty in Measurement of Resistivity of Hard-drawn Aluminum Wire for Aluminum  
Conductor Steel Reinforced Cable.....HU Zhenxing LIU Yufeng LI Chuanzeng et al

### Power Transmission and Distribution Engineering

- 93 Analysis of Overheating Problem of Current Limiting Resistor in Flexible HVDC Transmission Project.....WANG Kang  
97 Principle and Analysis of OPGW Cable Breaking in 500 kV Transmission Line.....LIANG Dong

- 100 Research on Online Evaluation Technology of Feeder Automation System Operation Status .....SHEN Xuehui  
 102 A 220 kV Booster Station Bus PT Secondary Circuit Grounding Analysis and Treatment Measures .....  
 .....ZHANG Xiaowei ZHU Jianhua LI Dongdong

## Electrical Equipment

- 106 Research on Automatic Distinguish Method of Primary and Secondary System Fault Based on Electrical Connection .....  
 .....LAI Tiande WANG Shixiang  
 109 Analysis of Startup Failure of Standby Automatic Switching Device in 110 kV Substation.....LU Wenqin WU Chenyuan  
 111 Study on a Cable Body Recovery Technology and Its Application .....ZUO Tao ZHOU Yingqing TANG Xiaodong et al  
 113 Design and Implementation of General Experimental Box for Power Electronic Technology\*.....  
 .....CHEN Chao CHEN Xiaoyuan ZHOU Hongqiang et al  
 116 Development of DC Ice Melting Fast Short-circuit Device for 220 kV Transmission Line.....  
 .....PAN Guanghui ZHANG Qi LAN Hai et al  
 119 Fault Analysis and Treatment of Upper Switch Tripping Caused by Soft Start of Freezer .....  
 .....BU Zhenyi TANG Qian LIU Guangyuan et al  
 122 Research on the Electro-Thermal Intelligent Motor Comprehensive Protector .....SONG Jiangbo ZONG Ming  
 125 Analysis of a Main Transformer Switch Tripping Accident Caused by Line Grounding ..... WU Chenyuan LU Wenqin  
 128 Research on Types and Parameters of Filtering Devices in Offshore Wind Farms .....  
 .....DAI Qiwei YIN Gui FU Chunxiang et al

## High Voltage and Insulation Technology

- 130 Study on Frequency Characteristics of Lightning Overvoltage of 10 kV Distribution Transformer ..... ZHOU Shangming  
 134 Calculation and Analysis of Circular Current in Metal Sheath of a Single Core Power Cable\*.....  
 .....QIN Xi LIU Yanping ZHOU Wenjun et al  
 138 Design and Development of an Electric Obstacle Crossing Two-Line Coaster on UHVDC Earth Electrode Line .....  
 .....ZHANG Bing WU Qiwei  
 141 Study on the Effect of Thermal Aging on Partial Discharge Characteristics of EPDM Electrical Tree .....  
 .....CHEN Zuxiang TIAN Zhiqiang ZHANG Mengnan et al  
 147 Selection and Layout Scheme of 400 kV Outdoor Power Distribution Device in High Altitude Area .....  
 .....WANG Yifei OUYANG You  
 149 Experiment Study of SF<sub>6</sub> and Its Decomposition Product SO<sub>2</sub> by Raman Spectroscopy\*.....  
 .....QIAN Guochao PENG Qingjun ZOU Yuepei et al

## Power Plant

- 154 Analysis and Improvement of Abnormal Regulation of AVC in a Power Plant ..... ZHENG Zeyin  
 157 Equipment Identification Method for Digital Instrument Control System in Nuclear Power Plant.....ZHANG Yuanyuan  
 159 Feasibility of Full Power Test after Logic Test of Diesel in Nuclear Power Plant..... HU Biao  
 162 Research on Application of Pipe Clamp Improvement in Vibration Control of Instrumentation Tube in Nuclear Power Plant  
 .....LIN Xintong LI Haihuang  
 164 Analysis of Project Management of RPN System Detector Overhaul .....LU Jian ZHU Pengfei TONG Jie  
 169 Analysis of Accident of Loss of Excitation Protection Action Caused by Leading Phase Operation of Thermal Power Unit  
 .....LIU Wei  
 171 Study on Selection of Coal Under Extreme Seawater Quality to Achieve SO<sub>2</sub> Comply with Discharge Standards .....  
 .....ZHAO Xiaoming YAN Lu ZHANG Xiaoyang et al  
 173 Study on Qualification of Class 1E Battery for Starting EDG of Nuclear Power Plant .....CHEN Fujie  
 177 Reliability Classification Technology Method and Application of Equipment in Tianwan Nuclear Power Plant .....  
 .....ZHAO Guohui HAN Wei ZHOU Zhejun et al  
 179 Principle and Application of Power Switching Device for Overseas HPR1000 Nuclear Power Plant .....  
 .....SONG Chengyang HONG Qixu CAO Wanggang et al

## Motor

- 182 Torque Analysis of Stator Yokeless Axial Flux Permanent Magnet Motor with Different Pole Numbers .....  
 .....YI Pengfei PENG Bing  
 186 Research on PMSM Control of Belt Conveyor Based on Simulink\*.....DU Xianyi GUO Huiwen WANG Zhaolin  
 189 Discussion on Full Voltage Starting Conditions of Cage Induction Motor .....LI Jianwen  
 194 Research on Characteristic of Double Side Doubly Fed Linear Motor with Long Ironless Stator .....  
 .....ZHANG Wenhui LIU Xuelong LIU Shijie et al  
 198 Optimization of Maintenance Strategy and Method of Atmospheric Steam Discharge Valve in Heavy Water Reactor Nuclear  
 Power Plants ..... WANG Hao ZHANG Xiaohui JIN Ze et al