

# 电力工程技术

DIANLI GONGCHENG JISHU

第39卷 第2期(总第190期)

2020年3月28日出版

## 编辑委员会

顾问 陈维江 郑健超 严陆光  
王锡凡 黄其励 薛禹胜  
韩英铎 李立浯 余贻鑫  
刘吉臻 罗 安 汤广福  
邱爱慈 肖世杰 陈 刚  
吴 争

主任委员 沈国荣

副主任委员 胡敏强 金保昇 鞠 平  
孙玉坤 王海林 蒯狄正  
李 群 陈松林

委 员 (以姓氏笔画为序)

于继来 卫志农 文劲宇  
王 磊 王伟胜 王成山  
王秀丽 王恩荣 王黎明  
邓富金 艾 芊 叶 林  
叶 辉 田 杰 刘 东  
刘玉田 刘国海 刘涤尘  
汤 奕 汤 涌 阮新波  
江 林 严 胜 吴 峰  
何正友 张乔根 张保会  
李 力 李 强 李红斌  
李琼慧 李碧君 杨晓梅  
肖湘宁 邹 云 陈 昊  
陈 杰 陈伟根 周 波  
周克毅 欧开健 姚建国  
荆 平 费益军 赵成勇  
赵剑锋 赵健康 郝思鹏  
袁宇波 夏成军 徐 政  
殷明慧 高小涛 梁 睿  
章述汉 黄学良 黄浩声  
龚雁峰 程 明 董新洲  
蒋 平 谢 明 管 霖

主 编 李 群

## 目 次

### 电网无功补偿与控制新技术专题

特约主编寄语 ..... 卫志农(1)  
新型同步调相机的关键技术及研究进展  
..... 程明, 田伟杰, 王伟, 蔚超(2)  
基于智能体群组强化学习的电网无功电压调控方法  
... 范士雄, 刘幸蔚, 魏智慧, 刘瑞叶, 王松岩, 于继来(10)  
基于相相差时间函数调相机并网合闸时间预测  
..... 蒋梦瑶, 汤晓峥, 刘一丹, 赵宏飞, 马宏忠, 陈明(18)  
一种静止无功发生器的改进模糊自适应PI控制策略  
..... 吕广强, 刘潇逸(23)  
计及出力波动的光伏电站无功支撑能力评估  
..... 王强, 顾乔根, 孙仲民, 耿少博, 任江波(29)  
负载不平衡条件下MMC-STATCOM补偿策略研究  
..... 丘冠新, 朱鹏宇, 王灿, 杨锐雄, 凌华保, 林桂辉(35)

### 专论与综述

特高压直流故障的快速精细化静态安全分析  
..... 楼伯良, 鲍颜红, 周华, 徐泰山, 任先成, 吴峰(43)  
基于EMD-LSTM的光伏发电预测模型  
..... 朱玥, 顾洁, 孟璐(51)  
基于PCS功率越限判据的独立型微电网紧急控制策略  
..... 朱皓斌, 徐光福, 侯炜, 李旭, 陈俊, 王政(59)

### 电网运行与控制

计及核电调峰的新能源电力系统两阶段随机优化调度  
..... 宁阳天, 罗翠云, 赵梓淇, 苗增强, 曾子或, 丁涛(66)  
基于历史数据聚类分析的暂态功角稳定故障筛选  
..... 郭剑, 朱炳铨, 徐泰山, 王胜明, 徐雄峰(75)  
基于布谷鸟-Elman算法的光伏发电预测  
..... 赵俊浩, 吴杰康, 张文杰, 金锋, 叶辉良, 任德江(81)  
考虑交流滤波器扰动的换相失败预测控制策略改进  
..... 黄聪(89)

[ 期刊基本参数 ] CN32-1866/TM \* 1982 \* b \* A4 \* 199 \* zh \* P \* ¥ 26.00 \* 7000 \* 28 \* 2020-03

中国科技核心期刊

日本科学技术振兴机构数据库(JST)收录期刊

中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊

中国期刊全文数据库全文收录期刊

中文科技期刊数据库收录期刊

《CAJ-CD规范》执行优秀期刊

江苏省精品科技期刊

(双月刊)

基于改进变分模态分解的低频振荡模式辨别

… 肖怀硕, 贾梧桐, 肖冰莹, 孟凡松, 余锦厚, 王文杰(95)

## 智能配网与微网

基于智能负载的微电网精准切负荷控制策略

…… 史军, 王加澍, 熊峰, 程维杰, 宋俊文, 马刚(103)

基于小波去噪-KPCA神经网络的光伏功率预测方法

…… 孙新程, 万玥, 丁宏, 葛晨阳, 史文斌(110)

考虑源-荷不确定性的水风柴微电网优化配置

…… 张文杰, 吴杰康, 赵俊浩, 叶辉良, 任德江(117)

基于多时间尺度状态估计的配电网实时态势预测

…… 李延真, 郭英雷, 彭博, 孙媛媛, 李良子(127)

## 高电压技术

直流电缆雷电冲击电压安全裕度研究

…… 吴夕科, 李栋, 邓天宇, 朱智恩, 陈龙啸(135)

基于最大信息系数的变压器过热故障特征选择

…… 陈如意, 江军, 陈珉, 冯沛琪, 李晨, 张潮海(140)

纳米SiO<sub>2</sub>增强脲醛树脂机械性能的分子模拟研究

…… 张艳芳, 黄磊峰, 李伯男, 刘洋, 吴益明, 吴鹏(146)

## 智能电网技术

基于AdaBoost-DT算法的电力市场串谋行为识别研究

…… 张海生, 曹喆, 杨昌海, 骆雲鹏, 华回春(152)

基于多尺度特征提取的电力客户欠费风险预测

…… 葛安同, 谢晓慧, 谭忠恒, 李铁香, 张云, 黄睿(159)

电力监控系统的网络安全威胁溯源技术研究

…… 李泽科, 陈泽文, 王春艳, 徐志光, 梁野(166)

智能变电站稳定控制装置数字采样的设计与实现

…… 程维杰, 王计林, 马刚, 刘金生, 翁毅选(173)

## 技术探讨

基于SVPWM扇区号的三相变流器开路故障诊断

…… 孙超, 邱颖宁, 冯延晖(178)

消除模糊区的同杆双回线自适应重合闸

…… 崔玉, 陆金凤, 谢华, 吴奕, 曹海欧, 赵青春(186)

变压器防尘网格栅设计

…… 谭风雷, 陈昊, 马宏忠, 徐刚, 张鹏(193)

# 电力工程技术

主管单位: 国网江苏省电力有限公司

主办单位: 国网江苏省电力有限公司

江苏省电机工程学会

编辑出版: 《电力工程技术》编辑部

编辑部主任: 江 林

值班编辑: 胡昊明

地 址: 南京市江宁区帕威尔路1号

邮政编码: 211103

电 话: 025-86558060(编辑)

025-86558553(编辑)

025-86558020(编务)

传 真: 025-86558020

投稿网址: www.epet-info.com

电子邮箱: epet@ijournals.cn

创刊时间: 1982年

国内发行: 南京邮政局

邮发代号: 28-305

国内定价: 26.00元

订 阅: 全国各地邮政局(所)

印 刷: 南京茂华彩色印务有限公司

广告发布登记编号: 广登 32000000224

中国标准连续出版物号: ISSN 2096-3203

CN 32-1866/TM

国际刊名代码(CODEN): DGJIAA

微信公众号:



epet-1982

### 封面简介:

磁控高抗全称磁控型可控并联电抗器(MCR),采用自耦励磁和极限饱和和先进技术,具有输出谐波小、结构简单、可靠性高、占地面积小等特点,是超高压和特高压电网理想的动态无功补偿装置,对于提高电网输电能力,调整电网电压,补偿无功功率,以及限制过电压具有广泛的应用前景。

2019年11月,中国国产化磁控高抗在安哥拉南宽扎省Alto Chingo 220 kV变电站顺利并网运行。该变电站是安哥拉中南部联网通道上的关键枢纽,存在联网前潮流轻载和联网后过电压的问题,通过在变电站220 kV母线安装一套60 Mvar磁控高抗,可以实现对联网前后母线电压的控制。磁控高抗投运后,无功控制响应时间小于300 ms,谐波含量低于2%,电压控制精度大于0.3%,有效提高了安哥拉电网的电能质量,满足了南部地区用电负荷的需求。

# Electric Power Engineering Technology

Bimonthly Journal of State Grid Jiangsu Electric Power Co.,Ltd.

Vol.39 No.2 (Ser.190)

March 28, 2020

## CONTENTS

### Special Topic on New Technologies of Reactive Power Compensation and Control

- Key technologies and latest development of new synchronous condenser  
..... CHENG Ming, TIAN Weijie, WANG Wei, WEI Chao(2)
- Reactive voltage regulation method based on agents group using reinforcement learning  
..... FAN Shixiong, LIU Xingwei, WEI Zhihui, LIU Ruiye, WANG Songyan, YU Jilai(10)
- Prediction of grid-connected closing time of synchronous condenser based on improved phase-difference time function  
..... JIANG Mengyao, TANG Xiaozheng, LIU Yidan, ZHAO Hongfei, MA Hongzhong, CHEN Ming(18)
- An improved fuzzy adaptive PI control strategy for static var generator  
..... LYU Guangqiang, LIU Xiaoyi(23)
- The evaluation of reactive power support capacity of photovoltaic power station considering output fluctuation  
..... WANG Qiang, GU Qiaogen, SUN Zhongming, GEN Shaobo, REN Jiangbo(29)
- The compensation method of MMC-STATCOM under unbalanced load condition  
..... QIU Guanxin, ZHU Pengyu, WANG Can, YANG Ruixiong, LING Huabao, LIN Guihui(35)

### Thesis and Summary

- Fast and refined static security analysis of UHVDC fault  
..... LOU Boliang, BAO Yanhong, ZHOU Hua, XU Taishan, REN Xiancheng, WU Feng(43)
- Photovoltaic power generation prediction model based on EMD-LSTM  
..... ZHU Yue, GU Jie, MENG Lu(51)
- Emergency control strategy of independent micro-grid based on PCS power limit criterion  
..... ZHU Haobin, XU Guangfu, HOU Wei, LI Xu, CHEN Jun, WANG Zheng(59)

### Power Grid Operation and Control

- A two-stage stochastic optimization for power system nuclear power plants participating in peak regulation with the consideration of renewable energy uncertainty ..... NING Yangtian, LUO Cuiyun, ZHAO Ziqi, MIAO Zengqiang, ZENG Ziyu, DING Tao(66)
- Transient power angle stability contingency screening based on clustering analysis of historical data  
..... GUO Jian, ZHU Bingquan, XU Taishan, WANG Shengming, XU Xiongfeng(75)
- Photovoltaic power prediction based on Elman neural network with improved cuckoo algorithm  
..... ZHAO Junhao, WU Jiekang, ZHANG Wenjie, JIN Feng, YE Huiliang, REN Dejiang(81)
- Improvement of commutation failure predictive control considering AC filter disturbance  
..... HUANG Cong(89)
- An identification method for power system low-frequency oscillation based on parameter optimized variational mode decomposition  
..... XIAO Huaishuo, JIA Wutong, XIAO Bingying, MENG Fansong, YU Jinhou, WANG Wenjie(95)

|                              |                                                                                         |                             |                                  |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| <b>Competent Authorities</b> | State Grid Jiangsu Electric Power Co.,Ltd.                                              | <b>Publication Number</b>   | ISSN 2096 - 3203                 |
| <b>Sponsor</b>               | State Grid Jiangsu Electric Power Co.,Ltd.<br>Jiangsu Society of Electrical Engineering | <b>CODEN</b>                | DGJIAA                           |
| <b>Editor and Publisher</b>  | Editorial Department of Electric Power<br>Engineering Technology                        | <b>Web Site</b>             | www.epet-info.com                |
| <b>Chairman</b>              | SHEN Guorong                                                                            | <b>E-mail</b>               | epet@ijournals.cn                |
| <b>Editor in Chief</b>       | LI Qun                                                                                  | <b>Tel</b>                  | 025-86558060, 86558553, 86558020 |
| <b>Add</b>                   | No.1 Power Road, Jiangning District, Nanjing                                            | <b>Fax</b>                  | 025-86558020                     |
| <b>Zip Code</b>              | 211103                                                                                  | <b>Domestic Circulation</b> | Nanjing Post Office              |
|                              |                                                                                         | <b>Subscription Code</b>    | 28-305                           |
|                              |                                                                                         | <b>Subscription</b>         | Post Offices Across China        |

## Smart Distribution Network and Micro-grid

|                                                                                                                    |                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Load-shedding control strategy of microgrid based on smart loads                                                   | SHI Jun, WANG Jiashu, XIONG Feng, CHENG Weijie, SONG Junwen, MA Gang(103) |
| Forecasting method of photovoltaic output power based on wavelet denoising/KPCA/PSOBP                              | SUN Xincheng, WAN Yue, DING Hong, GE Chenyang, SHI Wenbin(110)            |
| Optimal capacity configuration of hydro-wind-diesel microgrid considering uncertainty of renewable energy and load | ZHANG Wenjie, WU Jiekang, ZHAO Junhao, YE Huiliang, REN Dejiang(117)      |
| Real-time situation prediction of distribution network based on multi-time scale state estimation                  | LI Yanzhen, GUO Yinglei, PENG Bo, SUN Yuanyuan, LI Liangzi(127)           |

## High Voltage Engineering

|                                                                                                                     |                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Safety margin of DC cable under lightning impulse voltage                                                           | WU Xike, LI Dong, DENG Tianyu, ZHU Zhien, CHEN Longxiao(135)              |
| Feature selection of dissolved gases in power transformer based on maximal information coefficient                  | CHEN Ruyi, JIANG Jun, CHEN Min, FENG Ruiqi, LI Chen, ZHANG Chaohai(140)   |
| Molecular simulation study on mechanical properties of poly (urea-formaldehyde) reinforced by nano-SiO <sub>2</sub> | ZHANG Yanfang, HUANG Leifeng, LI Bonan, LIU Yang, WU Yiming, WU Peng(146) |

## Smart Grid Technologies

|                                                                                          |                                                                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Collusive behavior recognition in electricity market based on AdaBoost-DT algorithm      | ZHANG Haisheng, CAO Zhe, YANG Changhai, LUO Yunpeng, HUA Huichun(152)         |
| Arrears risk prediction of large power customers based on multi-scale feature extraction | GE Antong, XIE Xiaohui, TAN Zhongheng, LI Tiexiang, ZHANG Yun, HUANG Rui(159) |
| Network security threat tracing technology of power monitoring system                    | LI Zeke, CHEN Zewen, WANG Chunyan, XU Zhiguang, LIANG Ye(166)                 |
| Stability control device digital sampling in smart substation                            | CHENG Weijie, WANG Jilin, MA Gang, LIU Jinsheng, WENG Yixuan(173)             |

## Technology Discussion

|                                                                                    |                                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Open-circuit fault diagnosis of three phase converter based on SVPWM sector number | SUN Chao, QIU Yingning, FENG Yanhui(178)                          |
| Adaptive reclosure of double-circuit line without fuzzy zone                       | CUI Yu, LU Jinfeng, XIE Hua, WU Yi, CAO Haiou, ZHAO Qingchun(186) |
| Design of dust filter mesh for transformer                                         | TAN Fenglei, CHEN Hao, MA Hongzhong, XU Gang, ZHANG Peng(193)     |