

# 电网技术

## POWER SYSTEM TECHNOLOGY

**10**  
**2018**

第42卷10期

Vol.42 No.10



 亿嘉和机器人

公司致力于电力、石化、市政、能源、医疗、社区、制造等行业特种机器人的研发、制造和推广应用,拥有一系列智能机器人技术和产品,可为各行业提供多样化的智能产品和服务。

亿嘉和科技股份有限公司

股票代码:603666

电话:025-83168166 传真:025-83168160

邮箱:yijiahe@yijiahe.com

网址:www.yijiahe.com



室外巡检

室内巡检

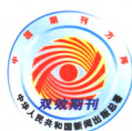
管廊巡检

管廊灭火

ISSN 1000-3673



万方数据



国家电网公司 主办



## 《电网技术》

### 编辑委员会

主 任：刘振亚

委 员（按姓氏笔画排序）：

Wei-Jen Lee 丁 明 尹积军 文福拴

王 敏 王成山 王相勤 王益民

Haifeng Wang (王海风) 韦 化

帅军庆 伍 莹 刘广迎 刘开俊

刘开培 刘玉田 刘建明 印永华

孙 昕 汤 涌 纪延超 吴 云

吴玉生 Qinghua Wu (吴青华)

张文亮 张丽英 张启平 张运洲

张春城 张智刚 李卫东 李文毅

李向荣 李庆林 李成榕 李群湛

杜至刚 杨 庆 肖世杰 肖立业

陈 峰 陈月明 周 浩 郑宝森

K L Lo (罗国麟) 段献忠 赵庆波

Wilsun Xu (徐文远) 索南加乐

栾 军 郭剑波 康重庆 曹一家

曹均正 曹志安 黄 强 程浩忠

舒印彪 葛正翔 路书军 廖瑞金

穆 钢 鞠 平

### 顾问委员会

主 任：陆延昌

副主任：周孝信 郑健超

委 员（按姓氏笔画排序）：

马伟明 王锡凡 卢 强 孙才新

朱英浩 严陆光 余贻鑫 宋永华

Felix Wu (吴复立) 杨奇逊 汪楦生

沈国荣 邱爱慈 陆佑楣 陈清泉

赵遵廉 唐任远 顾国彪 黄其励

程时杰 韩祯祥 潘家铮 薛禹胜

## 目 次

### ·电网信息物理系统（特约专栏主编 高昆仑、郭庆来、刘东）·

电网信息物理系统运行中信息-物理交互机理探索

..... 高昆仑, 王宇飞, 赵婷 (3101)

基于全面感知和软件定义的配电物联网体系架构

..... 吕军, 栾文鹏, 刘日亮, 王鹏, 林佳颖 (3108)

电网信息物理系统的数据驱动架构设计及应用

..... 郝琨琪, 王治华, 范帅, 肖居承, 何光宇 (3116)

基于边缘计算的主动配电网信息物理系统

..... 龚钢军, 罗安琴, 陈志敏, 栾敬钊, 安晓楠, 王雪蓓, 苏畅, 文亚凤 (3128)

考虑信息物理交互的电力-信息耦合网络脆弱性分析与改善策略研究

..... 张殷, 肖先勇, 李长松 (3136)

考虑路由策略的电力 CPS 连锁故障建模及分析

..... 朱国威, 贺瑞娟, 田猛, 代荡荡, 彭祥礼, 袁慧, 王先培 (3145)

电力线载波通信时频混合降噪方法

..... 杨挺, 刘佳林, 张亚健, 侯显丞 (3153)

面向高比例户用光伏消纳的储能系统与通信网络协同规划

..... 张博, 唐巍, 蔡永翔, 王越, 陈璐 (3161)

### · 直流输电与直流电网（特约专栏主编 汤广福）·

直流输电系统电子式电流互感器故障统计分析

..... 阮思烨, 王德林, 徐凯, 徐海军, 李凤祁, 吕鹏飞 (3170)

柔性直流电网线路超高速行波保护原理与实现

..... 汤兰西, 董新洲, 施慎行, 孔明, 邱宇峰 (3176)

考虑过渡电阻影响的柔性直流配电系统电流突变量保护

..... 贾科, 王聪博, 毕天姝, 朱瑞, 李猛, 李晨曦 (3187)

柔性直流配电网系统操作过电压的研究

..... 苏宜靖, 胡列翔, 许烽, 袁鹏, 周浩, 于竞哲 (3196)

### · 国家重点研发计划 ·

基于点估计法随机潮流的输电网多阶段规划研究

..... 张衡, 程浩忠, 柳璐, 周全, 江粟 (3204)

风火打捆送出系统动态安全域边界线性近似方法

..... 刘瑞宽, 陈磊, 闵勇, 侯凯元, 夏德明, 周莹, 赵宇民, 贾驰 (3211)

基于随机模型预测控制的分布式能源协调优化控制

..... 董雷, 刘梦夏, 陈乃仕, 范士雄, 蒲天骄 (3219)

基于智能模糊决策的光储系统实时调度技术

..... 邓长虹, 张思捷, 杨威, 姚维为, 刘正谊 (3227)

考虑多位置 NWP 和非典型特征的短期风电功率预测研究

..... 宋家康, 彭勇刚, 蔡宏达, 夏杨红, 王小明 (3234)

基于拓扑建模的电网故障诊断优化模型

..... 徐彪, 尹项根, 张哲, 李旭升 (3241)

光伏直流升压接入系统故障穿越协同控保方法

..... 贾科, 宣振文, 朱正轩, 杨哲, 毕天姝, 刘颖 (3249)

基于 PMU 量测的智能配电网电压-功率灵敏度鲁棒估计方法

..... 李鹏, 宿洪智, 王成山, 宋关羽, 赵金利, 于力 (3258)

基于非侵入式负荷监测的居民用电行为分析

..... 周明, 宋旭帆, 涂京, 李庚银, 栾开宁 (3268)



考虑绝缘老化和油色谱监测数据的变压器动态故障率模型  
.....韩赛赛, 刘宝柱, 艾欣, 张爽 (3275)  
考虑通信故障的直流微电网多储能荷电状态动态均衡策略  
.....米阳, 李战强, 刘红业, 吴彦伟, 宋根新, 苏向敬, 李振坤 (3282)

· 电力市场 (特约专栏主编 李永刚、张粒子) ·

输配电价改革对省级电网投资的影响及动态评估方法  
.....黄晨洋, 严正, 杨火明, 韩冬, 负靖洋, 杨建林 (3291)  
基于电力交易用户最优特征子集的售电套餐推荐方法  
.....曲朝阳, 冯荣强, 曲楠, 刘耀伟, 颜佳, 曲翀 (3298)  
充放电不确定性响应建模与电动汽车代理商日前调度策略  
.....朱兰, 刘仲, 唐陇军, 王吉, 黄超 (3305)  
高比例光伏电能产消群电力需求响应机制设计  
.....吉斌, 莫峻, 谭建成 (3315)

· 电力系统 ·

藏中电网系统级动态协调控制方案研究  
.....岳雷, 薛安成, 贺庆, 孟洪民, 于强, 崔洁豪, 毕天姝, 杨奇逊 (3323)  
基于轨迹特征根的系统暂态稳定判断与扰动类型筛选方法  
.....袁优, 康积涛, 王德林, 潘志豪, 李峰, 赵亚鑫 (3330)  
利用快速 S 变换及 2DPCA 的同调机组识别  
.....王涛, 杨越, 仲悟之, 顾雪平, 胡潇予, 孙铂皓 (3339)  
多变量风电机组功率曲线建模与监测研究  
.....郭鹏, 刘琳 (3347)  
多机电力系统非线性自适应  $L_2$  增益分散励磁控制  
.....谷志锋, 孙晓云, 余志强, 朱长青 (3355)  
抑制恒压恒频逆变器输出电压谐波的改进前馈策略  
.....苗德根, 侯世英, 王永胜, 廖磊, 孙韬 (3361)  
改进 Y 源并网逆变器的能量成型控制策略  
.....冉岩, 刘鸿鹏, 刘宽, 王卫 (3369)  
光伏集群逆变器的谐振机理及抑制技术研究  
.....万庆祝, 张翎帆, 张学哲, 孙健 (3377)  
一种中性线串接电容的 LC 耦合型配电网静止同步补偿器拓扑结构  
.....罗培, 黄强, 陈跃辉, 周冠东, 王伟能 (3385)  
基于无监督极限学习机的用电负荷模式提取  
.....王德文, 周昉昉 (3393)  
面向含多种用户类型的负荷曲线聚类研究  
.....王帅, 杜欣慧, 姚宏民, 王凤萍 (3401)  
中压架空线开关配置三阶段优化算法  
.....廖一茜, 张静, 王主丁, 张永斌 (3413)  
配电网的剩余供电能力实用模型  
.....甄国栋, 高新智, 于树刚, 郭伟, 李思岑, 祖国强 (3420)

· 高电压技术 ·

SF<sub>6</sub>/N<sub>2</sub> 混合气体用于 GIS 母线的研究与应用  
.....周安春, 高理迎, 冀肖彤, 张氏 (3429)  
1000 kV 特高压交流线路用 RTV 绝缘子表面涂层老化分析  
.....胡建林, 钟睿, 刘泽辉, 李洋洋, 蒋兴良 (3436)  
利用地网自身回流的大型接地网冲击接地电阻测试方法  
.....蒙泳昌, 张波, 王森, 李志忠 (3444)  
变压器油纸绝缘沿面放电缺陷发展特征及阶段识别方法  
.....李刚, 汪可, 张书琦, 赵志刚, 李金忠, 程涣超, 遇心如, 等 (3451)

《工程索引》(EI) 收录核心期刊  
2015 和 2017 年度中国“百强报刊”  
中国最具国际影响力学术期刊  
中国百种杰出学术期刊  
中国精品科技期刊  
全国中文核心期刊  
RCCSE 中国权威学术期刊  
《科学文摘》(SA) 收录期刊  
《文摘杂志》(AJ) 收录期刊  
中国科学引文数据库 (CSCD)  
中国期刊方阵双效期刊  
电力行业优秀科技期刊

《电网技术》(月刊)

第 42 卷 第 10 期 (总第 419 期)

主 管: 国家电网公司

主 办: 国家电网公司

编 辑: 中国电科院期刊中心

《电网技术》编辑部

出 版: 《电网技术》杂志社有限公司

主 编: 张文亮

副主编: 郭剑波 汤 涌

编辑部副主任: 李兰欣 010-82812543

广告部经理: 齐 华 010-58386112

发 行: 闫 頔 010-82812465

编 辑: 010-82812523/2672/2981/2982

网上投稿: <http://www.dwjs.com.cn>

电力系统内部电话: 91862+后四位

传 真: 010-82812980

地 址: 100192 北京清河小营东路 15 号

中国电力科学研究院有限公司内

印 刷: 北京科信印刷有限公司

北京市昌平区七北路马连店甲 6 号

总发行: 北京报刊发行局

国外发行: 中国国际图书贸易总公司

订 阅: 全国各地邮局

邮发代号: 国内 82-604 国外 1474M

中国标准连续出版物号: ISSN 1000-3673  
CN 11-2410/TM

广告经营许可证号: 京海工商广字第 0168 号

期刊基本参数: CN 11-2410/TM \* 1957 \* M \* A4 \* 358 \* zh \* P \* ¥80.00 \* 20000 \* 44 \* 2018-10 版权所有 未经许可不得转载及上网

# POWER SYSTEM TECHNOLOGY

2018, Vol. 42 No. 10 (Ser. 419)

## Contents

### · Power Grid Cyber-Physical Systems ·

#### Exploration of Cyber-Physical Interaction Mechanism in Power Grid Cyber-Physical Systems Operation

..... Gao Kunlun, Wang Yufei, Zhao Ting (3101)

#### Architecture of Distribution Internet of Things Based on Widespread Sensing & Software Defined Technology

..... Lü Jun, Luan Wenpeng, Liu Riliang, Wang Peng, Lin Jiaying (3108)

#### Data-Driven Architecture Design and Application of Power Grid Cyber Physical System

..... Jia Kunqi, Wang Zhihua, Fan Shuai, Xiao Jucheng, He Guangyu (3116)

#### Cyber Physical System of Active Distribution Network Based on Edge Computing

..... Gong Gangjun, Luo Anqin, Chen Zhimin, Luan Jingzhao, An Xiaonan, Wang Xuebei, Su Chang, Wen Yafeng (3128)

#### Vulnerability Analysis and Improvement Strategy of Power-Information Coupled Networks Considering Cyber Physical Interaction

..... Zhang Yin, Xiao Xianrong, Li Changsong (3136)

#### Modeling and Analysis of Cascade Failure of Power Grid Cyber-Physical Systems Considering Routing Strategy

..... Zhu Guowei, He Ruijuan, Tian Meng, Dai Dangdang, Peng Xiangli, Yuan Hui, Wang Xianpei (3145)

#### Noise Reduction Method for LV Power Line Carrier Communication

..... Yang Ting, Liu Jialin, Zhang Yajian, Hou Yucheng (3153)

#### Collaborative Configuration of Energy Storage Systems and Communication Networks for Accommodation of High-Penetration Residential PVs

..... Zhang Bo, Tang Wei, Cai Yongxiang, Wang Yue, Chen Lu (3161)

### · HVDC Transmission & HVDC Grid ·

#### Fault Statistical Analysis of ECT in DC Transmission System

..... Ruan Siye, Wang Delin, Xu Kai, Xu Haijun, Li Fengqi, Lü Pengfei (3170)

#### Principle and Implementation of Ultra-High-Speed Travelling Wave Based Protection for Transmission Line of Flexible HVDC Grid

..... Tang Lanxi, Dong Xinzhou, Shi Shenxing, Kong Ming, Qiu Yufeng (3176)

#### A DC Current Derivative Protection With Capability of Resisting High Resistance for Flexible DC Distribution System

..... Jia Ke, Wang Congbo, Bi Tianshu, Zhu Rui, Li Meng, Li Chenxi (3187)

#### Research on Switching Overvoltage in Flexible DC Distribution Network

..... Su Yijing, Hu Liexiang, Xu Feng, Qiu Peng, Zhou Hao, Yu Jingzhe (3196)

### · National Key Research and Development Program of China ·

#### Research on Multistage Transmission Network Expansion Planning Using Point Estimation Method Based on Stochastic Power Flow

..... Zhang Heng, Cheng Haozhong, Liu Lu, Zhou Quan, Jiang Li (3204)

#### A Linear Approximation Method of Dynamic Security Region of Wind-Thermal-Bundled Sending System

..... Liu Ruikuan, Chen Lei, Min Yong, Hou Kaiyuan, Xia Deming, Zhou Ying, Zhao Yumin, Ben Chi (3211)

#### Coordinated Optimal Control of Distributed Energy Based on Stochastic Model Predictive Control

..... Dong Lei, Liu Mengxia, Chen Naishi, Fan Shixiong, Pu Tianjiao (3219)

#### Real-Time Scheduling Technology of Photovoltaic-Battery Generation System Based on Intelligent Fuzzy Logic Control

..... Deng Changhong, Zhang Sijie, Yang Wei, Yao Weiwei, Liu Zhengyi (3227)

#### Research of Short-Term Wind Power Forecasting Considering Multi-Location NWP and Uncanonical Feature

..... Song Jiakang, Peng Yonggang, Cai Hongda, Xia Yanghong, Wang Xiaoming (3234)

#### Topological Modeling Based Optimal Model for Power Grids Fault Diagnosis

..... Xu Biao, Yin Xianggen, Zhang Zhe, Li Xusheng (3241)

#### A Coordinated Control and Active Protection for PV DC Boosting Integration System During FRT

..... Jia Ke, Xuan Zhenwen, Zhu Zhengxuan, Yang Zhe, Bi Tianshu, Liu Ying (3249)

#### Robust Estimation Method of Voltage to Power Sensitivity for Smart Distribution Networks Based on PMU Measurements

..... Li Peng, Su Hongzhi, Wang Chengshan, Song Guanyu, Zhao Jinli, Yu Li (3258)

#### Residential Electricity Consumption Behavior Analysis Based on Non-Intrusive Load Monitoring

..... Zhou Ming, Song Xufan, Tu Jing, Li Gengyin, Luan Kaining (3268)

#### Dynamic Failure Rate Model for Transformer Considering Insulation Aging and Oil Chromatographic Monitoring Data

..... Han Saisai, Liu Baozhu, Ai Xin, Zhang Shuang (3275)

#### State-of-Charge Dynamic Balancing Strategy for Multi Energy Storage of DC Micro-Grid Considering Communication Faults

..... Mi Yang, Li Zhanqiang, Liu Hongye, Wu Yanwei, Song Genxin, Su Xiangjing, Li Zhenkun (3282)



---

• Electricity Market •

**Impacts of TDP Reform on Investment of Provincial Power Grid and Its Dynamic Evaluation Method**

..... Huang Chenyang, Yan Zheng, Yang Huoming, Han Dong, Yun Jingyang, Yang Jianlin (3291)

**Recommendation Method of Electricity Selling Packages Based on Optimal Feature Subset of Electricity Trading Users**

..... Qu Zhaoyang, Feng Rongqiang, Qu Nan, Liu Yaowei, Yan Jia, Qu Chong (3298)

**Modeling of Charging and Discharging Uncertainty and Research on Day-Ahead Dispatching Strategy of Electric Vehicle Agents**

..... Zhu Lan, Liu Shen, Tang Longjun, Wang Ji, Huang Chao (3305)

**Design of Power Demand Response Mechanism for High Proportion of Photovoltaic Prosumer**

..... Ji Bin, Mo Jun, Tan Jiancheng (3315)

• Power System •

**Research on System-Level Dynamic Coordinated Control Scheme for Central Tibetan Grid**

..... Yue Lei, Xue Ancheng, He Qing, Meng Hongming, Yu Qiang, Cui Jiehao, Bi Tianshu, Yang Qixun (3323)

**Judgment of System Transient Stability and Disturbance Type Screening Method Based on Trajectory Eigenvalue**

..... Yuan You, Kang Jitao, Wang Delin, Pan Zhihao, Li Feng, Zhao Yaxin (3330)

**Coherency Identification Based on Fast S-Transform and Two-Dimensional PCA**

..... Wang Tao, Yang Yue, Zhong Wuzhi, Gu Xueping, Hu Xiaoyu, Sun Bohao (3339)

**Modeling and Monitoring of Multivariable Wind Turbine Power Curve**..... Guo Peng, Liu Lin (3347)

**Nonlinear Adaptive  $L_2$ -Gain Decentralized Excitation Control for Multi-Machine Power System**

..... Gu Zhifeng, Sun Xiaoyun, Yu Zhiqiang, Zhu Changqing (3355)

**Improved Feedforward Strategy for Constant-Voltage Constant-Frequency Inverter for Suppressing Output Voltage Distortion**

..... Miao Degen, Hou Shiyang, Wang Yongsheng, Liao Lei, Sun Tao (3361)

**Energy-Shaping Control Strategy of Improved Y-Source Inverter**..... Ran Yan, Liu Hongpeng, Liu Kuan, Wang Wei (3369)

**Research on Resonance Mechanism and Suppression Technology of Photovoltaic Cluster Inverter**

..... Wan Qingzhu, Zhang Hongfan, Zhang Xuezhe, Sun Jian (3377)

**Research on a New LC-DSTATCOM Topology of Neutral Line Connected Capacitor**

..... Luo Pei, Huang Qiang, Chen Yuehui, Zhou Guandong, Wang Weineng (3385)

**Extraction of Electricity Consumption Load Pattern Based on Unsupervised Extreme Learning Machine**

..... Wang Dewen, Zhou Fangfang (3393)

**Research on Load Curve Clustering With Multiple User Types**

..... Wang Shuai, Du Xinhui, Yao Hongmin, Wang Fengping (3401)

**Three-Stage Optimization Algorithm for the Sectionalizing Switch Placement of a Medium Voltage Overhead Line**

..... Liao Yixi, Zhang Jing, Wang Zhuding, Zhang Yongbin (3413)

**The Practical Residue Supply Capability Model of Distribution Network**

..... Zhen Guodong, Gao Xinzhì, Yu Shugang, Guo Wei, Li Sicen, Zu Guoqiang (3420)

• High Voltages •

**Research and Application of  $\text{SF}_6/\text{N}_2$  Mixed Gas Used in GIS Bus**..... Zhou Anchun, Gao Liying, Ji Xiaotong, Zhang Min (3429)

**Aging Analysis of RTV Insulator Coating on 1000 kV UHV AC Transmission Line**

..... Hu Jianlin, Zhong Rui, Liu Zehui, Li Yangyang, Jiang Xingliang (3436)

**Testing Method of Impulse Resistance of Large Grounding Grid Using Grounding Grid Itself for Current Return**

..... Meng Yongchang, Zhang Bo, Wang Sen, Li Zhizhong (3444)

**Evolution Characteristics and Stage Recognition Method of Surface Discharge Defects of Oil-Paper Insulation in Transformer**

..... Li Gang, Wang Ke, Zhang Shuqi, Zhao Zhigang, Li Jinzhong, Cheng Huanchao, Yu Xinru, et al (3451)

---

**Sponsor:** State Grid Corporation of China

**In Cooperation with:** China Electric Power Research Institute (CEPRI)

**Chairman of Editorial Committee:** Liu Zhenya

**Editor-in-Chief:** Zhang Wenliang

**Editor and Publisher:** Power System Technology Press

**Associate Director of Editorial Board:** Li Lanxin

**Publication Number:** ISSN 1000-3673

**CODEN:** DIJIES      **Devey#:** 621.31

---

**Address:** China Electric Power Research Institute, Qinghe, Beijing 100192, China

**Tel/Fax:** 86-10-82812980

**E-mail:** pst@epri.sgcc.com.cn    <http://www.dwjs.com.cn>

**Agent of Subscriptions Abroad:** China International Book Trading Corporation (GUOJISHUDIAN) P.O.Box 399, Beijing, China

Smart Link  
Better Life

# 智能电网

## ——长飞特种光纤产品解决方案

长飞光纤光缆股份有限公司是全球实力雄厚的特种光纤光缆供应商之一,在电力电网领域,我们致力于提供特高压直流输电、柔直输电、交流串补及风电控制用全系列特种光纤光缆组件;同时,针对电网运行状态监测需求,长飞提供特高压电流监测、分布式光纤测温及变电站、发电厂等场景周界安防等综合解决方案。在该领域已服务多年,不断推进和实现国家电力电网自主创新和关键性元器件国产化。

未来,长飞光纤光缆股份有限公司将不断致力于为智能、安全、清洁、坚强的电力电网工程贡献坚实力量。

### 我们的产品服务:

#### ● 输电换流阀:

电力阀用触发光纤(ETT、LTT、柔直阀等)



#### ● 串补工程:

交流串补用特种光纤



#### ● 风电:

风电控制光缆组件



#### ● 特高压电流监测:全光纤电流互感器

#### ● 温度监测:分布式光纤电流监测系统

#### ● 周界安防:变电站、发电厂等周界安防



长飞光纤光缆股份有限公司

www.yofc.com 电话(Tel):+86 27 6788 7531 邮箱(E-mail): yuxiaojun@yofc.com

YOFCC | 30 NEW FUTURE Anniversary

股票代码: 601869.SH 06869.HK

国内统一数据 CN11-2410/TM 广告经营许可证号: 京海工商广字第0168号 境内定价: 每册80.00元 全年: 960元 邮发代号: 国内82-604/国外1474M