

## 《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 汪槩生

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

### · 面向园区微网的综合能源系统运行规划关键技术

（特约专栏主编 刘敦楠）·

面向园区微网的“源-网-荷-储”一体化运营模式

.....刘敦楠，徐尔丰，许小峰（681）

微电网运行效果评价指标体系及评价方法

.....吴鸣，赵婷婷，赵凤展，张宇，寇凌峰，周献飞（690）

基于深度结构多任务学习的园区型综合能源系统多元负荷预测

.....史佳琪，谭涛，郭经，刘阳，张建华（698）

市场环境下园区售电商的最优报价和运行优化

.....甘宇翔，蒋传文，白宏坤，王江波，杨萌（707）

计及可平移负荷的分布式冷热电联供系统优化运行

.....胡荣，张宏璐，李振坤，李慧娟，马杰（715）

分布式热电联产系统规划设计理念与方法探析

.....任洪波，徐佩佩，吴琼（722）

光储协调互补平抑功率波动策略及经济性分析

.....马伟，王玮，吴学智，胡若男，姜久春（730）

含高渗透率光伏的配电网分布式电压控制

.....柴园园，郭力，王成山，刘娇扬，路畅，金炜，潘静（738）

### · 高比例可再生能源并网（特约专栏主编 康重庆）·

考虑可消纳风电区间的多区电力系统分散协调鲁棒调度方法

.....翟俊义，周明，李庚银，吴巍，任建文（747）

考虑风-光-荷联合时序场景的分布式电源接入容量规划策略

.....陈碧云，闭晚霞，李欣桐，李翠珍，周恒旺（755）

计及源-网-荷不确定性因素的马尔科夫链风电并网系统运行可靠性评估

.....张文秀，韩肖清，宋述勇，宋述亭，付可宁，王金浩，秦文萍，等（762）

改进 K 近邻算法在风功率预测及风水协同运行中的应用

.....杨秀媛，裴微江，金鑫城，陈勇，邹卫美，郑志伟，郭中华，等（772）

高可再生能源渗透率海岛微电网运行控制

.....于凡，刘兴华，孙树敏，李广磊，李笋，程艳，张用，石鑫，等（779）

智能配电网故障后自愈能力评估

.....李振坤，赵向阳，朱兰，郭维一（789）

### · 直流输电与直流电网（特约专栏主编 汤广福）·

一种提高 MMC 交流电压鲁棒性的改进调制策略

.....王铁柱，卜广全，王姗姗，董毅峰，侯俊贤，王毅（797）

孤立 MMC 站在线平滑接入直流电网的控制策略

.....韩乃峰，贾秀芳，许建中，赵成勇（804）

HVDC 开路状态下换流阀控制设备误发保护性触发故障原因分析

.....吴晋波，熊尚峰，陈刚，李刚，刘海峰，汪宵飞（812）

直流自耦变压器样机设计与实验验证

.....周猛，左文平，向往，林卫星，文劲宇（819）

### · 可再生能源发电与综合消纳技术

（特约专栏主编 陈皓勇、李方兴）·

综合考虑运行效率和弃风损失的输电网规划

.....刘自发，于寒霄，王帅，史锐，王智冬，罗娅（827）

## 基于场景集的含风电电力系统旋转备用优化

.....艾小猛, 塔伊尔江·巴合依, 杨立滨, 杨建华, 方家琨, 文劲宇 (835)

## 基于优化 FCM 聚类的 RELM 风速预测

.....潘超, 秦本双, 何瑶, 袁翀, 沈清野 (842)

大型风力发电机组故障诊断综述 .....曾军, 陈艳峰, 杨革, 郭红霞 (849)

## 级联 H 桥中压风电变流器故障状态优化控制策略

.....李鑫, 张建文, 蔡旭 (861)

## 计及随机和风险因素的梯级水电调度交易优化模型和方法

.....刘方, 张粒子 (870)

## 光伏逆变器直流电压扰动引起的间谐波电流解析模型

.....陶顺, 姚黎婷, 廖坤玉, 肖湘宁 (878)

### · 电力系统 ·

## Hadoop 架构下基于分布式粒子群算法的骨架网络重构方法

.....谢彦祥, 刘天琪, 苏学能 (886)

三区延迟电力系统鲁棒负荷频率控制研究 .....熊林云, 王杰 (894)

## 一种基于双层迭代聚类分析的负荷模式可控精细化识别方法

.....卜凡鹏, 陈俊艺, 张琪祁, 田世明, 丁坚勇, 朱炳翔 (903)

## 紧急切负荷措施的温控负荷控制策略及概率模型

.....苏建军, 郭跃进, 刘萌, 张国辉, 王大鹏 (911)

## 分布式潮流控制器经济性评估方法与差异化规划研究

.....王佳丽, 唐飞, 刘涤尘, 黄涌, 赵红生, 徐秋实 (918)

## 一种城市防风抗灾保底电网的多目标规划方法

.....邵嘉嘉, 韦斌, 隋宇, 潘险险, 李阳 (927)

## 新型虚拟同步发电机控制方法及其暂态过程自适应控制策略

.....邹蕴韬, 张海涛, 刘春阳, 陈欣琰, 王秀丽, 宁联辉 (933)

## 入网电压控制型逆变器的同步电机特性分析

.....陈晓博, 赵晋斌, 高家元, 屈克庆, 李芬 (942)

## 考虑弱电网下逆变器稳定性的 LCL 滤波器参数优化方法

.....郭超, 杨洪耕 (949)

## 基于三矢量的三相 PWM 整流器低复杂性模型预测直接功率控制

.....张辉, 李志新, 王涛, 张满, 孙传达 (957)

## 基于容量分解的电力直流电源系统蓄电池容量计算方法

.....李学斌, 解放, 张毅 (966)

### · 自动化 ·

## 我国特高压直流输电通信技术的巴西工程本地化通道设计方案

.....刘云 (973)

## 电力光通信网中基于 P 圈的多播业务保护算法

.....李彬, 卢超, 朱朝阳, 景栋盛, 祁兵, 孙毅 (981)

### · 高电压技术 ·

## 基于过程的输电线路雷电活动描述新方法

.....吴敏, 王韬, 赵淳, 王佩, 郭钧天, 陈路, 潘佳鑫, 罗飞 (989)

## 高海拔地区紫外线辐射对复合绝缘子表面憎水性的影响机制

.....孙文健, 李亚伟, 刘轩东, 沈曦, 陈洪波, 张乔根 (996)

## 采用植物油浸渍耐高温纸的配电变压器过载能力

.....徐晓刚, 何煜雯, 李鑫, 彭发东, 徐阳 (1001)

## 大型 SVC 中三相电抗器的电磁干扰测试与屏蔽措施评估

.....赵世林, 周凯, 温才权, 宋永佳, 全杰雄, 马春亮 (1007)

## 《工程索引》(EI) 收录核心期刊

## 2015 年度全国“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 3 期 (总第 412 期)

主 管: 国家电网公司

主 办: 国家电网公司

编 辑: 《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 颀 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: 91871+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

ISSN 1000-3673

中国标准连续出版物号: CN 11-2410/TM

广告经营许可证号: 京海工商广字第 0168 号

# POWER SYSTEM TECHNOLOGY

2018, Vol. 42 No. 3 (Ser. 412)

## Contents

### · Key Technologies of Integrated Energy System Operation and Planning in Park-Level Microgrid ·

#### “Source-Network-Load-Storage” Integrated Operation Model for Microgrid in Park

..... Liu Dunnan, Xu Erfeng, Xu Xiaofeng (681)

#### Evaluation Index System of Microgrid Operation Effect and Corresponding Evaluation Method

..... Wu Ming, Zhao Tingting, Zhao Fengzhan, Zhang Yu, Kou Lingfeng, Zhou Xianfei (690)

#### Multi-Task Learning Based on Deep Architecture for Various Types of Load Forecasting in Regional Energy System Integration

..... Shi Jiaqi, Tan Tao, Guo Jing, Liu Yang, Zhang Jianhua (698)

#### Optimal Bidding Strategy and Operation of Industrial Park Electricity Retailer in Electricity Market

..... Gan Yuxiang, Jiang Chuanwen, Bai Hongkun, Wang Jiangbo, Yang Meng (707)

#### Optimal Operation for CCHP System Considering Shiftable Loads

..... Hu Rong, Zhang Milu, Li Zhenkun, Li Huijuan, Ma Jie (715)

#### Theory and Method of Planning and Design of Distributed Combined Heat and Power System

..... Ren Hongbo, Xu Peipei, Wu Qiong (722)

#### Coordinated Control Strategy of Photovoltaics and Energy Storage for Smoothing Power Fluctuations of Photovoltaics and

Economic Analysis..... Ma Wei, Wang Wei, Wu Xuezhi, Hu Ruonan, Jiang Jiuchun (730)

#### Distributed Voltage Control in Distribution Networks With High Penetration of PV

..... Chai Yuanyuan, Guo Li, Wang Chengshan, Liu Jiaoyang, Lu Chang, Jin Wei, Pan Jing (738)

### · High Share of Renewable Energy Integration ·

#### A Decentralized and Robust Dispatch Approach for Multi-Area Power System Considering Accommodated Wind Power Interval

..... Zhai Junyi, Zhou Ming, Li Gengyin, Wu Wei, Ren Jianwen (747)

#### Capacity Planning Strategies for Distributed Generation Considering Wind-Photovoltaic-Load Joint Time Sequential Scenarios

..... Chen Biyun, Bi Wanxia, Li Xintong, Li Cuizhen, Zhou Hengwang (755)

#### Operational Reliability Evaluation of Wind Integrated Power Systems Based on Markov Chain Considering Uncertainty Factors of Source-Grid-Load

..... Zhang Wenxiu, Han Xiaoqing, Song Shuyong, Song Shuting, Fu Kening, Wang Jinhao, Qin Wenping, et al (762)

#### Wind Power Prediction Based on Improved K-Nearest Neighbor Algorithm and Its Application in Co-Operation of Wind and Hydro Powers

..... Yang Xiuyuan, Qiu Weijiang, Jin Xincheng, Chen Yong, Zou Weimei, Zheng Zhiwei, Guo Zhonghua, Qin Zeyang (772)

#### Study on Operation Control of Island Microgrid With High Renewable Energy Penetration

..... Yu Peng, Liu Xinghua, Sun Shumin, Li Guanglei, Li Sun, Cheng Yan, Zhang Yong, Shi Xin, et al (779)

#### Evaluation of Self-Healing Ability for Smart Distribution Network After Failure

..... Li Zhenkun, Zhao Xiangyang, Zhu Lan, Guo Weiye (789)

### · HVDC Transmission & HVDC Grid ·

#### An Improved Modulation Strategy for Improving the Robustness of MMC AC Voltage

..... Wang Tiezhu, Bu Guangquan, Wang Shanshan, Dong Yifeng, Hou Junxian, Wang Yi (797)

#### Strategy on On-Line Smooth Connection of an Isolated MMC Station Into DC Grid

..... Han Naizheng, Jia Xiufang, Xu Jianzhong, Zhao Chengyong (804)

#### Cause Analysis of Sent-in-Error Valve Control Protective Trigger on Open HVDC Line

..... Wu Jinbo, Xiong Shangfeng, Chen Gang, Li Gang, Liu Haifeng, Wang Xiaofei (812)

#### Design and Experimental Verification of DC Autotransformer Prototype

..... Zhou Meng, Zuo Wenping, Xiang Wang, Lin Weixing, Wen Jinyu (819)

### · Renewable Energy Generation and Integration ·

#### Transmission Grid Planning Considering Operation Efficiency and Wind Curtailment Loss

..... Liu Zifa, Yu Hanxiao, Wang Shuai, Shi Rui, Wang Zhidong, Luo Ya (827)

#### Optimizing the Spinning Reserve in Wind Power System Using Scenario Method

..... Ai Xiaomeng, Tayierjiang B., Yang Libin, Yang Jianhua, Fang Jiakun, Wen Jinyu (835)

#### Wind Speed Forecasting of Regularized ELM Based on Optimized FCM Clustering

..... Pan Chao, Qin Benshuang, He Yao, Yuan Chong, Shen Qingye (842)

#### Review of Fault Diagnosis Methods of Large-Scale Wind Turbines

..... Zeng Jun, Chen Yanfeng, Yang Ping, Guo Hongxia (849)

#### Control Strategy of Cascade Multi-Cell MV Wind Power Converter Under Fault Condition

..... Li Xin, Zhang Jianwen, Cai Xu (861)

---

|                                                                                                                           |                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| <b>Optimization Model and Method of Cascade Hydropower Scheduling Transaction Considering Stochastic and Risk Factors</b> | Liu Fang, Zhang Lizi (870)                             |
| <b>Analytical Model for Inter-Harmonic Current Caused by DC Voltage Disturbance of Photovoltaic Inverter</b>              | Tao Shun, Yao Liting, Liao Kunyu, Xiao Xiangning (878) |

## • Power System •

|                                                                                                                             |                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>A Novel Skeleton Network Reconfiguration Method Based on Distributed PSO Algorithm and Hadoop Architecture</b>           | Xie Yanxiang, Liu Tianqi, Su Xueneng (886)                                           |
| <b>Study of Load Frequency Control for Three-Area Time-Delayed Power System</b>                                             | Xiong Linyun, Wang Jie (894)                                                         |
| <b>A Controllable Refined Recognition Method of Electrical Load Pattern Based on Bilayer Iterative Clustering Analysis</b>  | Bu Fanpeng, Chen Junyi, Zhang Qiqi, Tian Shiming, Ding Jianyong, Zhu Bingxiang (903) |
| <b>Strategy and Probability Model for Thermostatically Controlled Loads in Emergency Load Shedding System</b>               | Su Jianjun, Guo Yuejin, Liu Meng, Zhang Guohui, Wang Dapeng (911)                    |
| <b>Research on DPFC Economic Evaluation Method and Differentiation Planning Strategy</b>                                    | Wang Jiali, Tang Fei, Liu Dichen, Huang Yong, Zhao Hongsheng, Xu Qiushi (918)        |
| <b>A Multi-Objective Planning Method of Urban Secure Power Networks Guaranteed Against Typhoon and Disaster</b>             | Huan Jiajia, Wei Bin, Sui Yu, Pan Xianxian, Li Yang (927)                            |
| <b>A Control Approach of Novel Virtual Synchronous Generator and An Adaptive Control Strategy for Its Transient Process</b> | Zou Yuntao, Zhang Haitao, Liu Chunyang, Chen Xinyan, Wang Xiuli, Ning Lianhui (933)  |
| <b>Analysis of Synchronous Generator Characteristics of Grid-Connected Voltage Controlled Inverter</b>                      | Chen Xiaobo, Zhao Jinbin, Gao Jiayuan, Qu Keqing, Li Fen (942)                       |
| <b>Optimized LCL-Filter Design Considering Stability of Grid-Connected Inverters in Weak Grid</b>                           | Guo Chao, Yang Honggeng (949)                                                        |
| <b>Three Vectors Based Low Complexity Model Predictive Direct Power Control for Three-Phase PWM Rectifier</b>               | Zhang Hui, Li Zhixin, Wang Tao, Zhang Man, Sun Chuanda (957)                         |
| <b>Calculation Method of Battery Capacity in DC Power Supply System Based on Capacity Decomposition</b>                     | Li Xuebin, Xie Fang, Zhang Yi (966)                                                  |

## • Automation •

|                                                                                                              |                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| <b>Research on Localized Channel Design in Brazil Utilizing Chinese UHVDC Telecommunication Technologies</b> | Liu Yun (973)                                                        |
| <b>P-Cycle Based Protection Algorithm for Multicasting Services in Electric Optical Network</b>              | Li Bin, Lu Chao, Zhu Chaoyang, Jing Dongsheng, Qi Bing, Sun Yi (981) |

## • High Voltages •

|                                                                                                                                |                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>A New Description Method of Lightning Activity Around Transmission Line Based on Process</b>                                | Wu Min, Wang Tao, Zhao Chun, Wang Pei, Guo Juntian, Chen Lu, Pan Jiaxin, Luo Fei (989) |
| <b>Influence Mechanism of UV on Surface Hydrophobicity of Composite Insulators in High Altitude Areas</b>                      | Sun Wenjian, Li Yawei, Liu Xuandong, Shen Xi, Chen Hongbo, Zhang Qiaogen (996)         |
| <b>Overload Capacity for Distribution Transformers With Natural-Ester Immersed High-Temperature Resistant Insulating Paper</b> | Xu Xiaogang, He Yunwen, Li Xin, Peng Fadong, Xu Yang (1001)                            |
| <b>Electromagnetic Interference and Shielding Effect of 3-Phase Air Core Reactors for Large SVC Equipment</b>                  | Zhao Shilin, Zhou Kai, Wen Caiquan, Song Yongjia, Quan Jiexiong, Ma Chunliang (1007)   |

---

**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