

电网技术

POWER SYSTEM TECHNOLOGY

2
2018

第42卷2期
Vol.42 No.2

QK1808663



热烈祝贺 桂容谐平

“10kV智能配网串联补偿装置”

成功入选国家电网公司新技术推广应用目录

- 基于晶闸管保护方案，响应速度明显高于常规快速开关
- 荣获国家专利（专利号：ZL201320751287.2）
- 在浙江、福建、广东、贵州、湖南、新疆、内蒙古等地已有数十套成功运行案例
- 率先通过中电联新产品鉴定（证书编号：中电联鉴字[2015]第62号），性能指标达到国际先进水平



浙江桂容谐平科技有限责任公司

地址：浙江省杭州市余杭区余杭塘路2630号

邮编：311121

电话：0571-89987188

传真：0571-89987533

网址：www.zjgrxp.com

ISSN 1000-3673



国家电网公司 主办



9 771000 3673 02 >
万方数据

《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 伍萱 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 汪植生

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

· 特约专稿 ·

超高次谐波问题及其研究现状与趋势

汪颖, 罗代军, 肖先勇, 李媛, 徐方维 (353)

· ±1100kV 特高压直流输电技术

(特约专栏主编 高克利、李鹏)·

考虑地面倾角下±1100 kV 重要输电通道内邻近线路间雷电屏蔽效应仿真计算

余军, 蓝磊, 孙泽中, 王磊, 何慧雯, 王羽, 邓治强 (366)

±1100kV 换流站管母线选型及地面合成电场研究

张进, 赵录兴, 谢莉, 刘元庆, 鞠勇, 马晓倩 (373)

准东—皖南±1100kV 特高压直流输电工程受端电网的直流偏磁影响预测及治理

杨娜, 陈煜, 潘卓洪, 文习山 (380)

特高压换流变压器油纸绝缘交直流击穿特性及选型

廖瑞金, 邵山峰, 成立, 杨丽君, 赵学童 (387)

±1100kV 线路长串盘形绝缘子污闪特性研究

于昕哲, 周军, 刘博, 吴浩哲, 徐跃能, 张乔根 (393)

· 能源互联网 (特约专栏主编 孙宏斌、冯庆东) ·

面向能源互联网的电-气耦合网络状态估计技术

董今妮, 孙宏斌, 郭庆来, 盛同天, 乔铮 (400)

一种考虑天然气系统动态过程的气电联合系统优化运行模型

艾小猛, 方家琨, 徐沈智, 文劲宇 (409)

基于能量流的电热综合能源系统弃风消纳优化调度模型

杨帅, 陈磊, 徐飞, 孙亮, 陈群, 贺克伦, 姜拓, 戴远航 (417)

补偿度实时优化的储能-火电联合 AGC 策略

孙冰莹, 刘宗歧, 杨水丽, 王然, 李婷婷 (426)

· 电力市场 (特约专栏主编 李永刚、张粒子) ·

一种基于挂牌的电力市场竞价模式与实践

张茂林, 黄宋波, 涂启玉, 王睿琛, 马高权, 邢玉辉, 刘双全, 等 (434)

微服务在电力交易系统中的应用研究

承林, 王海宁, 高春成 (441)

面向售电侧改革的用户分层聚类与套餐推荐方法

孙毅, 顾玮, 李彬, 崔灿, 孙辰军, 郑爱霞 (447)

· 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) ·

交直流混合微电网网络坚强度评估的指标体系及方法

朱永强, 王甜婧 (455)

主从控制孤岛运行微电网的短期可靠性评估

彭寒梅, 郭颖聪, 昌玲, 李帅虎, 李辉 (463)

基于多进程的多微网分层控制仿真平台

许志荣, 杨苹, 黄梓健, 刘泽健, 张育嘉 (472)

考虑备用动作约束的含风电场电力系统多目标动态优化调度

颜远, 林舜江, 刘明波 (479)

计及风电功率预测误差的需求响应多时间尺度优化调度

李春燕, 陈骁, 张鹏, 张谦 (487)

基于一主三从博弈的风-水-气区域电力系统调度研究

杨国清, 付菁, 王德意, 贾嵘, 李润秋 (495)

一种考虑电压稳定约束的风-燃互补发电系统容量规划与并网控制策略
..... 孙天奎, 李志民 (503)

双馈风力发电机的调频策略及机组定子故障下的弱电网稳定性研究
..... 孙丽玲, 胡兰青 (509)

基于运行状态评估的双馈风机自适应虚拟同步发电机控制
..... 高激, 田新首, 李琰, 迟永宁, 刘超, 唐冰婕 (517)

基于鲁棒变结构的直驱风电机组单位功率因数控制
..... 刘军, 周飞航, 赵晨聪, 张彬彬 (524)

基于改进自抗扰控制的抑制光打捆经直流送出系统的次同步振荡策略
..... 高本锋, 姚磊 (533)

电气化铁路背靠背光伏发电系统及控制策略
..... 郭明亮, 戴朝华, 邓文丽, 高岩, 陈化博, 陈维荣 (541)

基于光伏并网逆变器的一种矢量角补偿法有限控制集模型预测控制研究
..... 陆治国, 王友, 廖一茜 (548)

三相四桥臂并网逆变器约束模型预测控制
..... 陈启宏, 罗潇汝, 张立炎 (555)

· 电力系统 ·

降低多回 HVDC 同时换相失败风险的交直流混联受端系统 STATCOM
配置方案..... 郑宽, 沈沉, 刘锋 (564)

基于 ADPSS 电磁暂态模型库的三相潮流建模与计算方法
..... 徐树文, 李亚楼, 李文臣, 徐得起, 齐大勇 (571)

结合 M-Copula 理论与半不变量的随机潮流方法
..... 刘俊, 郝旭东, 程佩芬, 王超, 宋行 (578)

基于 MFOA-GRNN 模型的年电力负荷预测
..... 李冬辉, 尹海燕, 郑博文 (585)

基于动态 RBF 神经网络的广义电力负荷建模
..... 黄俊铭, 朱建全, 庄远灿 (591)

基于 VMD 与 PSO 优化深度信念网络的短期负荷预测
..... 梁智, 孙国强, 李虎成, 卫志农, 臧海祥, 周亦洲, 陈霜 (598)

基于 T 型三电平逆变器的超导磁储能系统及其能量成型控制策略
..... 林晓冬, 雷勇 (607)

典型电能质量稳态指标预测模型研究
..... 林顺富, 汤继开, 汤波, 李东东, 符杨 (614)

基于 IEC 61850 的数字化电能表用快速准同步谐波测量算法
..... 肖勇, 罗睿希, 赵伟, 江波, 黄松岭, 张翔 (621)

基于电压空间矢量的类正弦滞环电流控制策略
..... 赵红雁, 李艳, 杜吉飞, 郑琼林, 李丹勇, 石璞 (628)

结合小波分析和改进型 DTW 距离的配电网电压暂降源辨识方法
..... 储佳伟, 袁晓冬, 陈兵, 王旭冲, 邱海峰, 顾伟 (637)

基于卷积神经网络的电力设备缺陷文本分类模型研究
..... 刘梓权, 王慧芳, 曹靖, 邱剑 (644)

一种最优化资源保护技术在电力通信网中的应用
..... 祁兵, 刘林, 李彬, 孙毅, 郑爱霞 (651)

· 高电压技术 ·

基于油中气体分析的变压器故障诊断 ReLU-DBN 方法
..... 代杰杰, 宋辉, 杨祎, 陈玉峰, 盛戈峰, 江秀臣 (658)

直流电压下矿物油和天然酯中纤维颗粒运动及成桥特性的差异
..... 但敏, 郝建, 廖瑞金, 李彦青, 杨丽君 (665)

具有开断效应的半导体防冰涂层绝缘子外绝缘性能的试验研究
..... 周朋, 于昕哲, 周军, 贾志东, 柳顺楠, 胥经纬 (673)

《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 2 期 (总第 411 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
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 岷 010-82812465
编 辑：010-82812523/2672/2981/2982
网上投稿：[http:// www.dwjs.com.cn](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
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

POWER SYSTEM TECHNOLOGY

2018, Vol. 42 No. 2 (Ser. 411)

Contents

· Special Paper ·

Review and Development Tendency of Research on 2~150 kHz Supraharmonics
..... Wang Ying, Luo Daijun, Xiao Xianrong, Li Yuan, Xu Fangwei (353)

· ±1100kV UHVDC Transmission Technology ·

Simulation of Lightning Shielding Between Adjacent Lines Considering Ground Slope Angle in Important ±1100 kV DC Transmission Channel..... Yu Jun, Lan Lei, Sun Zezhong, Wang Lei, He Huiwen, Wang Yu, Deng Yeqiang (366)

Study on Type Selection of Tubular Busbars and Compound Electric Field in ± 1100kV Converter Station
..... Zhang Jin, Zhao Luxing, Xie Li, Liu Yuanqing, Ju Yong, Ma Xiaoqian (373)

Influence Prediction and Suppression Research of DC Bias in Eastern Junggar-Southern Anhui ±1100kV UHVDC Receiving-End Grid
..... Yang Na, Chen Yu, Pan Zhuohong, Wen Xishan (380)

Breakdown Characteristics of Oil-Paper Insulation in UHVDC Converter Transformer Under AC/DC Voltage and Its Selection of Oil and Paper..... Liao Ruijin, Shao Shanfeng, Cheng Li, Yang Lijun, Zhao Xuetong (387)

Research on Pollution Flashover Performance of ±1100kV Long Line Disc Insulator String
..... Yu Xinzhe, Zhou Jun, Liu Bo, Wu Haozhe, Xu Yueneng, Zhang Qiaogen (393)

· Energy Internet ·

State Estimation of Combined Electric-Gas Networks for Energy Internet
..... Dong Jinni, Sun Hongbin, Guo Qinglai, Sheng Tongtian, Qiao Zheng (400)

An Optimal Energy Flow Model in Integrated Gas-Electric Systems Considering Dynamics of Natural Gas System
..... Ai Xiaomeng, Fang Jiakun, Xu Shenzi, Wen Jinyu (409)

Optimal Dispatch Model of Wind Power Accommodation in Integrated Electrical-Thermal Power System Based on Power Flow Model
..... Yang Shuai, Chen Lei, Xu Fei, Sun Liang, Chen Qun, He Kelun, Jiang Tuo, Dai Yuanhang (417)

A Real-Time Optimization Method of Compensation Degree for Storage Coordinated With Thermal Power Unit in AGC
..... Sun Bingying, Liu Zongqi, Yang Shuili, Wang Ran, Li Tingting (426)

· Electricity Market ·

An Electricity Market Bidding Model and Practice Based on Listing
..... Zhang Maolin, Huang Songbo, Tu Qiyu, Wang Ruichen, Ma Gaoquan, Xing Yuhui, Liu Shuangquan, et al (434)

Research on Application of Micro Service in Power Transaction System
..... Cheng Lin, Wang Haining, Gao Chunheng (441)

Electricity-Retail-Market-Reform Oriented Recommendation Method of User's Hierarchical Clustering and Pricing Packages
..... Sun Yi, Gu Wei, Li Bin, Cui Can, Sun Chenjun, Zheng Aixia (447)

· Renewable Energy Generation and Integration ·

Index System and Method for Evaluating Strength of Hybrid AC / DC Microgrid
..... Zhu Yongqiang, Wang Tianjing (455)

Short-Term Reliability Assessment of Islanded Microgrid Under Master-Slave Control
..... Peng Hanmei, Guo Yingcong, Chang Ling, Li Shuaihu, Li Hui (463)

Hierarchical Multi-Microgrid Control Simulation Platform Based on Multi-Process
..... Xu Zhirong, Yang Ping, Huang Zijian, Liu Zejian, Zhang Yujia (472)

Multi-Objective Optimal Dynamic Dispatch of Power System With Wind Farms Considering Reserve Action Constraints
..... Yan Yuan, Lin Shunjiang, Liu Mingbo (479)

Multi-Time-Scale Demand Response Dispatch Considering Wind Power Forecast Error
..... Li Chunyan, Chen Xiao, Zhang Peng, Zhang Qian (487)

Study on One-Leader Three-Follower Game Dispatching of Regional Power System With Wind-Hydro-Gas Power
..... Yang Guoqing, Fu Jing, Wang Deyi, Jia Rong, Li Runqiu (495)

A Capacity Planning and Grid-Connected Control Strategy for Wind-Gas Coordinating Generation System Considering Voltage Stability..... Sun Tiankui, Li Zhimin (503)

Frequency Regulation Strategy of DFIG-Based Wind Power Generating Unit and Stability Research of Weak Grids Considering DFIG Stator Fault..... Sun Liling, Hu Lanqing (509)

Adaptive Virtual Synchronous Generator Control of DFIG Based on Operation State Evaluation
..... Gao Che, Tian Xinshou, Li Yan, Chi Yongning, Liu Chao, Tang Bingjie (517)

Unit Power Factor Control of Direct-Drive Permanent Magnet Synchronous Wind Turbine Based on Robust Variable Structure
..... Liu Jun, Zhou Feihang, Zhao Chencong, Zhang Binbin (524)

Sub-Synchronous Oscillation Suppression for Photovoltaic-Thermal-Bundled Power System Based on Improved Active Disturbance Rejection Control	Gao Benfeng, Yao Lei (533)
Back-to-Back PV Generation System and Its Control Strategy for Electrified Railway	Wu Mingliang, Dai Chaohua, Deng Wenli, Gao Yan, Chen Huabo, Chen Weirong (541)
A Vector Angle Compensation Method Study of Finite Control Set Model Predictive Control Based on Photovoltaic (PV) Grid Inverter	Lu Zhiguo, Wang You, Liao Yixi (548)
Constrained Model Predictive Control for Three-Phase Four-Leg Grid-Tied Inverter	Chen Qihong, Luo Xiaoru, Zhang Liyan (555)

· **Power System** ·

Configuration Scheme of STATCOM for Mitigating Simultaneous Commutation Failure Risk of Multi-Infeed HVDC Links	Zheng Kuan, Shen Chen, Liu Feng (564)
Research of Three-Phase Load Flow Modeling and Method Based on ADPSS Electromagnetic Transient Model Library	Xu Shuwen, Li Yalou, Li Wenchen, Xu Dechao, Qi Dayong (571)
Probabilistic Load Flow Method Combining M-Copula Theory and Cumulants	Liu Jun, Hao Xudong, Cheng Peifen, Wang Chao, Song Hang (578)
An Annual Load Forecasting Model Based on Generalized Regression Neural Network With Multi-Swarm Fruit Fly Optimization Algorithm	Li Donghui, Yin Haiyan, Zheng Bowen (585)
Generalized Power Load Modeling Based on Dynamic RBF Neural Network	Huang Junming, Zhu Jianquan, Zhuang Yuanan (591)
Short-Term Load Forecasting Based on VMD and PSO Optimized Deep Belief Network	Liang Zhi, Sun Guoqiang, Li Hucheng, Wei Zhinong, Zang Haixiang, Zhou Yizhou, Chen Shuang (598)
Three-Level T-Type Converter for Superconducting Magnetic Energy Storage System and Its Energy-Shaping Control Strategy	Lin Xiaodong, Lei Yong (607)
Study on Forecasting Model of Typical Power Quality Steady State Indices	Lin Shunfu, Tang Jikai, Tang Bo, Li Dongdong, Fu Yang (614)
Fast Quasi-Synchronous Harmonic Algorithm for IEC61850 Based Digital Energy Metering Devices	Xiao Yong, Luo Ruixi, Zhao Wei, Jiang Bo, Huang Songling, Zhang Xiang (621)
A Voltage Vector-Based Sine-Like Hysteresis Current Control Strategy	Zhao Hongyan, Li Yan, Du Jifei, Zheng Qionglin, Li Danyong, Shi Pu (628)
A Method for Distribution Network Voltage Sag Source Identification Combining Wavelet Analysis and Modified DTW Distance	Chu Jiawei, Yuan Xiaodong, Chen Bing, Wang Xuchong, Qiu Haifeng, Gu Wei (637)
A Classification Model of Power Equipment Defect Texts Based on Convolutional Neural Network	Liu Ziquan, Wang Huiyang, Cao Jing, Qiu Jian (644)
Application of An Optimized Resource Protection Technology in Electric Power Communication Network	Qi Bing, Liu Lin, Li Bin, Sun Yi, Zheng Aixia (651)

· **High Voltages** ·

Dissolved Gas Analysis of Insulating Oil for Power Transformer Fault Diagnosis Based on ReLU-DBN	Dai Jiejie, Song Hui, Yang Yi, Chen Yufeng, Sheng Gehao, Jiang Xiuchen (658)
Different Motion and Bridging Characteristics of Fiber Particles in Mineral Oil and Natural Ester Under DC Voltage	Dan Min, Hao Jian, Liao Ruijin, Li Yanqing, Yang Lijun (665)
Experimental Research on External Insulation Performance of Semiconductive Anti-Icing Coated Insulators With Switch-Off Effect	Zhou Peng, Yu Xinzhe, Zhou Jun, Jia Zhidong, Liu Shunnan, Xu Jingwei (673)

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



——值得信赖的电力系统价值伙伴

益和电气集团股份有限公司始于1985年，公司占地面积200000平方米，注册资金1.1亿元，员工1000余人。现发展成为集智能研发、智能制造、智慧服务、清洁能源、金融等为一体的现代化企业集团。可为客户提供电力工程的EPC（一站式）业务，投资承建工商业分布式光伏电站。

主要产品为126-252kV组合电器、40.5kV及以下高低压开关柜、12-40.5kV户内及户外断路器、箱式变电站、环网柜及智能配套组件等系列产品。



板材智能化加工系统



开关柜智能化生产线



用户变电站电能远控中心



益国利民 和谐共赢

益和电气集团股份有限公司

地址：山东省青岛市西海岸新区淮河西路717号 邮编：266510
电话：0532-58758279 传真：0532-58758222
<http://www.yihe.cn> E-mail: yihedianqijituan@163.com

