

电网技术

POWER SYSTEM TECHNOLOGY

1

2016

第40卷1期

Vol.40 No.1

中国的电力 我们的事业

中国电力科学研究院

恭祝各界朋友新年快乐、万事呈祥!



国家电网
STATE GRID

中国电力科学研究院
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

单位: 中国电力科学研究院

邮编: 100192

电话: (010) 82812114



欢迎关注微信号

ISSN 1000-3673



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 汪柵生

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

· 基于 MMC 的柔性输电技术 (特约栏目主编 徐政) ·

模块化多电平换流器的拓扑和工业应用综述

..... 杨晓峰, 郑琼林, 薛尧, 林智钦, 陈博伟 (1)

模块化多电平变流器子模块故障容错控制策略

..... 武文, 吴学智, 荆龙, 李金科 (11)

模块化多电平子模块冗余与带故障运行策略

..... 杜晓舟, 梅军, 田杰, 李然, 马天, 郑建勇 (19)

模块化多电平电容电压均衡控制方法

..... 杜晓舟, 梅军, 邓凯, 缪惠宇, 张喆, 王之赫 (26)

无冗余模块的故障环流分析及抑制策略研究

..... 李金科, 金新民, 吴学智, 武文, 荆龙, 尹靖元 (32)

MMC-HVDC 系统直流侧故障暂态特性分析

..... 杨海倩, 王玮, 荆龙, 吴学智 (40)

应用于海上风电场柔性直流接入系统的直流故障穿越协同控制策略

..... 李道洋, 姚为正, 吴金龙, 王先为, 张军, 行登江 (47)

适用于远距离大容量架空线路的 LCC-MMC 串联混合型直流输电系统

..... 徐政, 王世佳, 李宁臻, 肖晃庆, 江伟 (55)

一种 MMC-MTDC 系统新型协调控制策略

..... 刘盼盼, 荆龙, 吴学智, 李金科 (64)

适用于直流电网的组合式高压直流断路器

..... 刘高任, 许烽, 徐政, 张哲任 (70)

适用于城市电网的柔性环网控制器拓扑方案研究

..... 高凯, 阳岳希, 张艳军, 李强, 韩子娇 (78)

采用柔性直流输电优化河南电网运行的前瞻性研究

..... 安军, 柴旭峰, 王骅 (86)

南京西环网 UPFC 示范工程系统级控制策略研究

..... 祁万春, 杨林, 宋鹏程, 徐政 (92)

· 特约专稿 ·

特高压同步电网安全性论证

..... 汤涌, 郭强, 周勤勇, 覃琴, 秦晓辉 (97)

· 能源互联网 (特约栏目主编 孙宏斌、冯庆东) ·

能源互联网体系架构及关键技术

..... 严太山, 程浩忠, 曾平良, 马则良, 张立波, 田书欣 (105)

能源互联网“源-网-荷-储”协调优化运营模式及关键技术

..... 曾鸣, 杨雍琦, 刘敦楠, 曾博, 欧阳邵杰, 林海英, 韩旭 (114)

风电功率预测的新型互联网运营模式设计

..... 鲁宗相, 徐曼, 乔颖, 刘梅, 张华铭, 孙福林 (125)

基于多能协同策略的能源互联微网研究

..... 程林, 刘琛, 朱守真, 田浩, 沈欣炜 (132)

基于能源互联网用户核心理念的高载能-风电协调调度策略

..... 晋宏杨, 孙宏斌, 郭庆来, 王彬, 陈润泽, 王维洲 (139)

面向能源互联网的能量管理系统研究

..... 张涛, 张福兴, 张彦 (146)

计及规模化空调热平衡惯性的电力负荷日前削峰策略

..... 徐青山, 杨辰星, 颜庆国 (156)

面向能源互联网的非补燃压缩空气储能及应用前景初探

..... 薛小代, 梅生伟, 林其友, 陈来军, 陈颖 (164)

液氢超导磁储能及其在能源互联网中的应用

..... 沈郁, 姚伟, 方家琨, 文劲宇 (172)

基于广域时序数据挖掘策略的暂态电压稳定评估

..... 朱利鹏, 陆超, 黄河, 苏寅生, 汪际峰 (180)

· 电力系统 ·

风光火打捆交直流外送系统的高频切机方案研究

..... 陈赞, 陈得治, 马世英, 王毅, 宋云亭, 高峰, 吕思昕 (186)

基于有功潮流系数的电网关键线路辨识

..... 张涛, 孙晓伟, 徐雪琴, 李振兴 (193)

中压馈线理论线损率标杆值的优化设计方法及应用

..... 安晓华, 欧阳森, 冯天瑞, 吴裕生 (199)

基于自抗扰控制的牵引网网压低频振荡抑制方法

..... 姚书龙, 刘志刚, 张桂南, 向川 (207)

PSS 选型对孤岛电网频率稳定性影响机理

..... 郑超, 陈湘 (214)

智能电网下需求响应机理分析与建模综述

..... 杨旭英, 周明, 李庚银 (220)

配电网中分布式风电可调鲁棒优化规划

..... 温俊强, 曾博, 张建华 (227)

计及风-储联合系统概率模型的配电网随机潮流

..... 杨家豪, 欧阳森, 吴裕生, 刘泽槐, 龙海超 (234)

配电网供电区域划分方法与实践应用

..... 周莉梅, 屈高强, 刘伟, 刘苑红, 崔艳妍, 董晓晶 (242)

网格化中低压智能配电网评价指标体系与方法

..... 卫泽晨, 赵凤展, 王佳慧, 孟晓丽, 陈登明, 叶志军, 盛晔 (249)

平衡监管区域控制偏差限制标准剖析

..... 常烨璇, 刘姚, 巴宇, 李卫东, 滕贤亮 (256)

基于环路组搜索方式及分环替代策略相结合的配电网重构

..... 薛毓强, 吴小雁, 魏文新 (263)

二进制纵横交叉算法在配电网重构中的应用

..... 殷豪, 周玉龙, 孟安波 (270)

配电网固定串联补偿综合节能评估

..... 张良华, 艾绍贵, 高峰, 周孝信, 黄永宁, 樊益平 (276)

· 自动化 ·

高压直流纵差保护动作特性分析及改进

..... 李晓华, 戴扬宇, 丁晓兵, 杨通贤, 蔡泽祥 (283)

基于阻抗复数平面的自适应距离保护方案

..... 马静, 马伟, 闫新, 刘畅, 王增平 (290)

基于变分模态分解和概率密度估计的变压器绕组变形在线检测方法

..... 张宁, 朱永利, 高艳丰, 赵磊, 陈旭, 郭小红 (297)

考虑支路重要度的继电保护在线校核顺序研究

..... 贾燕冰, 何海丹, 刘睿琼 (303)

基于综合灵敏度分析限流的最优断线措施

..... 黄根, 罗滇生, 李帅虎, 李芳, 李盛兴 (309)

· 高电压技术 ·

基于流固耦合方法的强风区复合绝缘子结构研究

..... 王言, 贾志东, 朱正一, 雷云泽, 邓禹, 邓桃, 周军 (316)

换流变压器编组和受端电网结构对其直流偏磁的影响研究

..... 刘连光, 闫旭东, 马成廉, 魏恺, 张燕乘 (322)

复合绝缘子粉化伞裙的微观结构与憎水性的关联研究

..... 邓桃, 杨滴, 陶文彪, 周凯, 张学军, 谷琛 (328)

“能源互联网”专题征稿启事

..... (25)

“配用电大数据技术”专题征稿启事

..... (54)

“可再生能源发电与综合消纳技术”专题征稿启事

..... (85)

“直流电网基础理论及关键技术”专题征稿启事

..... (124)

“大规模交直流混联电网运行特性、风险及控制技术”专题征稿启事

..... (138)

声明

..... (155)

《工程索引》(EI) 收录核心期刊

中国最具国际影响力学术期刊

《科学文摘》(SA) 收录期刊

《文摘杂志》(AJ) 收录期刊

全国中文核心期刊

中国百种杰出学术期刊

中国精品科技期刊

中国科学引文数据库 (CSCD)

RCCSE 中国权威学术期刊

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40卷 第1期 (总第386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

编辑部主任: 宋书芳 010-82812532

副主任: 刘浩芳 010-82812536

广告部经理: 齐 华 010-58386112

发 行: 闫 颀 010-82812465

编 辑: 010-82812523/2543/2980/2981/2982

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

E-mail: pst@epri.sgcc.com.cn

地 址: 100192 北京清河小营东路15号

中国电力科学研究院内

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

2016, Vol. 40 No. 1 (Ser. 386)

Contents

· Power Transmission Technology Based on Modular Multilevel Converters ·

Review on Topology and Industry Applications of Modular Multilevel Converter

..... Yang Xiaofeng, Zheng Trillion Q, Xue Yao, Lin Zhiqin, Chen Bowei (1)

A Fault-Tolerated Control Strategy for Sub-Module Faults of Modular Multilevel Converters

..... Wu Wen, Wu Xuezhi, Jing Long, Li Jinke(11)

Redundancy Protection and Running-With-Fault Method for Sub-Module Faults in Modular Multilevel Converter

..... Du Xiaozhou, Mei Jun, Tian Jie, Li Ran, Ma Tian, Zheng Jianyong (19)

Voltage Balance Control Method of MMC..... Du Xiaozhou, Mei Jun, Deng Kai, Miao Huiyu, Zhang Zhe, Wang Zhihe (26)

Analysis of Fault Circulating Current Without Redundant Sub-Module and Its Suppression Strategy

..... Li Jinke, Jin Xinmin, Wu Xuezhi, Wu Wen, Jing Long, Yin Jingyuan (32)

Analysis on Transient Characteristic of DC Transmission Line Fault in MMC Based HVDC Transmission System

..... Yang Haiqian, Wang Wei, Jing Long, Wu Xuezhi (40)

Coordinated DC Fault Ride-Through Control Strategy for Offshore Wind Farm Interconnection With Flexible HVDC

..... Li Daoyang, Yao Weizheng, Wu Jinlong, Wang Xianwei, Zhang Jun, Xing Dengjiang (47)

A LCC and MMC Series Hybrid HVDC Topology Suitable for Bulk Power Overhead Line Transmission

..... Xu Zheng, Wang Shijia, Li Ningcan, Xiao Huangqing, Jiang Wei (55)

A New Coordinated Control Strategy for MMC-MTDC System and Stability Analysis

..... Liu Panpan, Jing Long, Wu Xuezhi, Li Jinke (64)

An Assembled HVDC Breaker for HVDC Grid..... Liu Gaoren, Xu Feng, Xu Zheng, Zhang Zheren (70)

A Topology Research of Flexible Looped Network Controller Suitable to Urban Power Grid

..... Gao Kai, Yang Yuexi, Zhang Yanjun, Li Qiang, Han Zijiao (78)

Prospective Study of Henan Power Grid Optimized Operation With VSC-HVDC An Jun, Chai Xuzheng, Wang Hua (86)

UPFC System Control Strategy Research in Nanjing Western Power Grid Qi Wanchun, Yang Lin, Song Pengcheng, Xu Zheng (92)

· Special Paper ·

Security Evaluation for UHV Synchronized Power Grid

..... Tang Yong, Guo Qiang, Zhou Qinyong, Qin Qin, Qin Xiaohui(97)

· Energy Internet ·

System Architecture and Key Technologies of Energy Internet

..... Yan Taishan, Cheng Haozhong, Zeng Pingliang, Ma Zeliang, Zhang Libo, Tian Shuxin (105)

“Generation-Grid-Load-Storage” Coordinative Optimal Operation Mode of Energy Internet and Key Technologies

..... Zeng Ming, Yang Yongqi, Liu Dunnan, Zeng Bo, Ouyang Shaojie, Lin Haiying, Han Xu (114)

New Internet Based Operation Pattern Design of Wind Power Forecasting System

..... Lu Zongxiang, Xu Man, Qiao Ying, Liu Mei, Zhang Huaming, Sun Fulin (125)

Study of Micro Energy Internet Based on Multi-Energy Interconnected Strategy

..... Cheng Lin, Liu Chen, Zhu Shouzheng, Tian Hao, Shen Xinwei (132)

Dispatch Strategy Based on Energy Internet Customer-Centered Concept for Energy Intensive Enterprise and Renewable Generation to Improve Renewable Integration..... Jin Hongyang, Sun Hongbin, Guo Qinglai, Wang Bin, Chen Runze, Wang Weizhou (139)

Study on Energy Management System of Energy InternetZhang Tao, Zhang Fuxing, Zhang Yan (146)

Strategy of Day-Ahead Power Peak Load Shedding Considering Thermal Equilibrium Inertia of Large-Scale Air Conditioning Loads.....Xu Qingshan, Yang Chenxing, Yan Qingguo (156)

Energy Internet Oriented Non-Supplementary Fired Compressed Air Energy Storage and Prospective of Application

..... Xue Xiaodai, Mei Shengwei, Lin Qiyou, Chen Laijun, Chen Ying (164)

Liquid Hydrogen With SMES and Its Application in Energy Internet.....Shen Yu, Yao Wei, Fang Jiakun, Wen Jinyu (172)

Wide-Area Time Series Data Mining Based Transient Voltage Stability Assessment

..... Zhu Lipeng, Lu Chao, Huang He, Su Yinsheng, Wang Jifeng (180)

· Power System ·

Studies on High-Frequency Generator Tripping Strategy for Wind-Photovoltaic-Thermal-Bundled Power Transmitted by AC/DC System..... Chen Yun, Chen Dezhi, Ma Shiying, Wang Yi, Song Yunting, Gao Feng, Lü Sixin (186)

Identification of Critical Lines in Power Grid Based on Active Power Flow Betweenness	Zhang Tao, Sun Xiaowei ,Xu Xueqin, Li Zhenxing(193)
An Optimal Design Method of Theoretical Line Loss Rate Benchmark Value for Medium Voltage Feeders and Its Application	An Xiaohua, Ouyang Sen, Feng Tianrui, Wu Yusheng (199)
A Novel Approach Based on ADRC to Traction Network Voltage Low Frequency Oscillation Suppression Research	Yao Shulong, Liu Zhigang, Zhang Guinan, Xiang Chuan (207)
Influence of Power System Stabilizer on Frequency Stability of Isolated Power Network	Zheng Chao, Chen Xiang (214)
Survey on Demand Response Mechanism and Modeling in Smart Grid	Yang Xuying, Zhou Ming, Li Gengyin (220)
Adjustable Robust Optimization for Distributed Wind Power Planning in Distribution Network	Wen Junqiang, Zeng Bo, Zhang Jianhua (227)
Stochastic Power Flow of Distribution Network Considering Probability Model of Wind-Storage Combined Systems	Yang Jiahao, Ouyang Sen, Wu Yusheng, Liu Zehuai, Long Haichao (234)
Methods and Practical Application of Power Supply Area Division for Distribution	Zhou Limei, Qu Gaoqiang, Liu Wei, Liu Yuanhong, Cui Yanyan, Dong Xiaojing (242)
Gridding Evaluation Index System and Method of MV and LV Intelligent Distribution Network	Wei Zechen, Zhao Fengzhan, Wang Jiahui, Meng Xiaoli, Chen Dengming, Ye Zhijun, Sheng Ye (249)
Analysis of Balancing Authority ACE Limit Standard of North America	Chang Yekui, Liu Rao, Ba Yu, Li Weidong, Teng Xianliang (256)
Distribution Network Reconfiguration With BPSO Based on Combination of Loop Group Search and Individual Loop Replacement	Xue Yuqiang, Wu Xiaoyan, Wei Wenxin (263)
Application of Binary Crisscross Optimization Algorithm to Distribution Network Reconfiguration	Yin Hao, Zhou Yulong, Meng Anbo (270)
Comprehensive Energy Saving Evaluation of the Fixed Series Capacitor Compensation in Distribution Network	Zhang Lianghua, Ai Shaogui, Gao Feng, Zhou Xiaoxin, Huang Yongning, Fan Yiping (276)
· Automation ·	
HVDC Longitudinal Differential Protection Operating Characteristic Analysis and Improvement	Li Xiaohua, Dai Yangyu, Ding Xiaobing, Yang Tongyun, Cai Zexiang (283)
Impedance Complex Plane Based Adaptive Distance Protection Scheme	Ma Jing, Ma Wei, Yan Xin, Liu Chang, Wang Zengping (290)
An On-Line Detection Method of Transformer Winding Deformation Based on Variational Mode Decomposition and Probability Density Estimation	Zhang Ning, Zhu Yongli, Gao Yanfeng, Zhao Lei, Chen Xu, Guo Xiaohong (297)
Study on On-Line Checking Sequence for Protective Relay Considering Importance of the Branch	Jia Yanbing, He Haidan, Liu Ruiqiong (303)
Optimal Line-Outage Measure Based on Comprehensive Sensitivity Analysis to Limit Short-Circuit Current	Huang Gen, Luo Diansheng, Li Shuaihu, Li Fang, Li Shengxing (309)
· High Voltages ·	
Research on the Structure of Composite Insulator Used in Strong Wind Area Based on Fluid-Structure Interaction Method	Wang Yan, Jia Zhidong, Zhu Zhengyi, Lei Yunze, Deng Yu, Deng Tao, Zhou Jun (316)
Research of Converter Transformer Marshalling and Receiving-End Grid Structure's Effect on Converter Transformer DC Bias	Liu Lianguang, Yan Xudong, Ma Chenglian, Wei Kai, Zhang Yanbing (322)
The Relationship Between Microstructure and Hydrophobicity of Pulverized Composite Insulator Sheds	Deng Tao, Yang Di, Tao Wenbiao, Zhou Kai, Zhang Xuejun, Gu Chen (328)

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
Director of Editorial Board: Song Shufang
Associate Director of Editorial Board: Liu Haofang
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



国家电网
STATE GRID

中国电力科学研究院
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

输变电工程研究所

输变电工程研究所是中国电力行业内从事输变电工程机械力学领域科研、技术服务和试验检测的专业研究机构，是全国架空线路标准化技术委员会、中国电机工程学会输电专业委员会、中国钢结构协会塔桅钢结构分会的挂靠单位。

输变电工程研究所主要业务范围包括杆塔结构研究与试验检测，导地线与金具研究、产品研发与试验检测，输电线路微风振动、次档距振荡、舞动防治，地基基础研究与试验检测，输变电构筑物及重要电气设施抗震减振研究、产品研发与试验检测，输电线路状态监测与评估技术研究，输变电工程施工技术和工艺研究、施工装备及工器具研究、设计技术研究等。

输变电工程研究所将继续秉承“努力超越、追求卓越”的企业精神，坚持“中国的电力、我们的事业”的企业理念，以先进的技术、精良的设备、丰富的经验、科学的管理提供更优质的服务，努力为我国的电力事业作出更大的贡献。



地 址：北京市西城区广安门南滨河路33号华亨大厦（100055）

联系人：李军辉

电话：010-58386104

网址：www.epri.sgcc.com.cn

万方数据

国内统一刊号：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