

电力自动化设备

Electric Power Automation Equipment

中文核心期刊 中国科技核心期刊 CSCD核心期刊 美国《工程索引》(Ei) 核心期刊 英国SA/INSPEC、俄罗斯AJ、美国CSA、荷兰Scopus收录期刊

NR 南瑞继保
NR ELECTRIC

轨道交通供电线网级智能运维平台

线网级供电设备智能运维平台综合运用大数据、人工智能、边缘计算等关键技术,实现供电系统智能巡视、智能管理、智能决策、智能诊断四大类应用,降低运维巡检作业负担,提高运营巡检效率,保障轨道交通供电系统的可靠性和安全性。

南京南瑞继保电气有限公司
南京南瑞继保工程技术有限公司

NR ELECTRIC CO., LTD
地址 江苏省南京市江宁区苏源大道69号, 211102
电话 025-87178911 传真 025-52100511
Market@nrec.com

★本期为“中低压直流配用电系统稳定与控制”专辑

ISSN 1006-6047



南京电力自动化研究所有限公司
国电南京自动化股份有限公司

主办

2021 5
第41卷 第5期
Vol.41 No.5



万方数据

电力自动化设备

DIANLI ZIDONGHUA SHEBEI

(月刊,1973年创刊)



5月
2021年
第41卷第5期
(总第325期)
2021年5月10日出版

编辑委员会

主任委员 王宏志

副主任委员 张东晓 周顺宏 胡红升 王凤蛟
经海林

名誉编委 (按姓氏笔画排序)

王维俭 王锡凡 卢强 严璋 杨以涵
杨奇逊 吴青华 吴复立 余贻鑫 辛耀中
宋永华 宋璇坤 张丽英 张伯明 陈 陈
陈德树 罗 安 周有庆 周孝信 洪佩孙
贺家李 钱清泉 徐文远 韩英铎 韩祯祥
程时杰 舒印彪

编委 (按姓氏笔画排序)

丁 明 于继来 卫志农 王成山 王守相
王克文 王增平 韦 化 文劲宇 文福拴
尹项根 艾 芊 艾 欣 卢志刚 朱守真
刘天琪 刘玉田 刘向杰 刘明波 刘俊勇
刘究林 刘 健 江全元 孙元章 孙宏斌
毕天姝 阮新波 严干贵 严 正 李生虎
李永丽 李庚银 李 斌 束洪春 别朝红
何正友 辛焕海 闵 勇 张 尧 张 兴
张 波 张保会 张道农 陆于平 陈星莺
陈维荣 陈皓勇 邵能灵 林中达 林湘宁
和敬涵 周 浩 周维维 赵争鸣 赵建国
赵剑锋 赵晋泉 胡家兵 胡敏强 段献忠
袁 越 贾宏杰 夏 清 徐丙垠 徐 政
徐殿国 高仕斌 高厚磊 郭创新 郭效军
唐 炬 涂春鸣 黄学良 梅生伟 曹一家
符 杨 康重庆 康 勇 董朝阳 董新洲
程浩忠 曾祥君 曾 嵘 谢少军 蔡泽祥
廖瑞金 薄志谦 穆 钢 鞠 平

主 编 郭效军

“中低压直流配用电系统稳定与控制”专辑

1 特约主编寄语

李霞林,王成山,彭 克

中低压直流配电系统稳定性分析

3 中低压柔性直流配电系统稳定性分析与机理研究综述

李鹏飞,李霞林,王成山,等

22 基于MMC的柔性直流配电系统低频振荡机理分析

张 浩,彭 克,刘盈杞,等

29 基于阻抗网络模型的多变流器直流微电网小扰动稳定性分析

刘镇湘,赵晋斌,曾志伟,等

34 双母线直流微电网的级联稳定性分析

张 辉,杜明桥,孙 凯,等

43 交流配电网中柔性直流互联装置阻抗稳定性分析及阻抗协同重塑控制

田艳军,王 坤,彭 飞,等

50 基于交流电流下垂特性控制的VSC建模和稳定性分析

赵雨童,高 飞,张博深

56 中压直流配电系统等效降阶建模及控制参数设计

朱 琳,赵学深,王 振,等

65 直流微电网高频振荡稳定问题的降阶建模及分析

李鹏飞,郭 力,王洪达,等

提升系统暂态稳定性的控制技术

73 非理想工况下柔性直流配电系统建模与运行控制关键问题

刘子文,唐 渊,张勇军,等

85 一种应用于直流微电网并网变换器的双电流反馈控制策略

支 娜,赵佳宝,明 旭

92 基于数据驱动的孤岛直流微电网二次控制

米 阳,常俊飞,时 帅,等

99 多子微电网型交直流混合配电系统灵活功率控制与电压抑制策略

李 松,李建伟,董云飞,等

107 光储直流配电网灵活虚拟惯性控制策略

刘英培,周素文,梁海平,等

114 一种适用于多电压等级直流配电网的分散式双向电压支撑控制方法

司鑫尧,赵竞涵,于 森,等

国家科委(90)国科发情字796号文批准

- 121 基于控制模式平滑切换的离网直流变压器无扰并网策略
张伟明,许加柱,陈 庆,等
- 128 直流微电网集群多状态运行分级协调控制策略
朱晓荣,赵澄颖,马英乔
- 136 基于附加电量的直流微电网动态稳定控制策略
付 媛,邵馨玉,赵欣艳,等
- 145 基于数据驱动的直流微电网虚假数据注入攻击快速防御策略
杨奕贤,郭 力,王洪达,等
- 152 基于模型预测控制混合储能系统的直流微电网韧性提升策略
郑子萱,倪扶瑶,汪 颖,等
- 160 低惯量直流微电网并网变换器的预测电流分区补偿控制策略
徐海亮,刘壮壮,王诗楠,等
- 167 含恒功率负荷直流微电网的状态反馈电压振荡控制技术
付 媛,王耀铎,张祥宇

▶▶ 直流故障穿越控制技术

- 175 多端口分布式光伏接入直流配电系统整体故障穿越协调控制
贾 科,李俊涛,陈金锋,等
- 183 基于主动探测的直流微电网故障区段辨识与快速恢复策略
冯泽彬,张雪松,汪湘晋,等
- 189 基于故障清除专用自阻模块的改进型MMC运行控制策略
赵思远,徐康泰,郎博宇,等
- 196 考虑多节点条件约束的柔直系统故障限流器与断路器优化配置方法
魏 伟,王盼宝,孙红梅,等
- 203 放射直流微电网短路故障保护策略
张伟亮,张 辉,支 娜,等
- 210 考虑敏感负荷需求和直流故障恢复能力的交直流混合配电网开关配置
唐 巍,王 辰,张 璐,等

▶▶ 示范工程与关键装备

- 219 直流配电系统示范工程现状与展望
姜瀚瀚,彭 克,徐丙垠,等
- 232 中低压直流变压器拓扑与控制综述
刘 贝,涂春鸣,肖 凡,等
- 247 面向低压直流配电网的双降压/升压型柔性互联开关
王菁月,裴忠晨,刘 闯,等
- 254 基于储能型柔性多状态开关的直流微电网与交流配电网柔性互联策略
杨万里,涂春鸣,兰 征,等

第三届国家期刊奖提名奖获奖期刊
中文核心期刊
《工程索引》(Ei)核心期刊
中国科学引文数据库(CSCD)核心期刊
中国科技核心期刊
RCCSE 中国权威学术期刊
英国《科学文摘》(SA, INSPEC)收录期刊
美国《剑桥科学文摘》(CSA)收录期刊
荷兰《文摘与引文数据库》(Scopus)来源期刊
俄罗斯《文摘杂志》(AJ, VINITI)收录期刊
美国 EBSCO 学术数据库收录期刊
美国《乌利希期刊指南》(UPD)收录期刊
第四届华东地区优秀期刊
中国电力报刊协会优秀期刊

EPAE 电力自动化设备 杂志社
EPAE Periodical Press

主管单位 中国华电集团有限公司
主办单位 南京电力自动化研究所有限公司
国电南京自动化股份有限公司
编辑出版 《电力自动化设备》编辑部
地 址 南京高新技术产业开发区星火路8号
邮政编码 210032
社 长 康鲁豫
编辑部主任 李育燕
编辑部副主任 李 莉、李 玲
广告部主管 张芳芳
发行部主管 于娜娜
本期栏目统筹 李 莉、李 玮
美 术 编 辑 卞金晶
电 话 (025)51859278(社长室)
(025)83537347,51859279(编辑部)
(025)83537349(广告部)
(025)51859280(发行及读者服务部)
(025)51183898(平面设计部)
网 址 www.epae.cn
电子信箱 epae@sac-china.com
发行范围 国内外公开发行
印 刷 中闻集团南京印务有限公司
国内发行 江苏省邮政管理局
邮发代号 28-268
订 阅 处 全国各地邮局
国内定价 每期50.00元,全年600.00元
海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司
(100048)

海外发行代号 MO-4802
ISSN 1006-6047
中国标准连续出版物号 CN 32-1318/TM
国际刊名代码(CODEN) DZSHFK



关注微信



访问官网

广告发布登记通知书编号:广登32010000078

Special Issue: Stability and Control of Medium- and Low-voltage DC Power Distribution System

STABILITY ANALYSIS OF MEDIUM- AND LOW-VOLTAGE DC POWER DISTRIBUTION SYSTEM

- 21 Review of stability analysis model and mechanism research of medium- and low-voltage flexible DC distribution system
LI Pengfei, LI Xialin, WANG Chengshan, et al.
- 28 Low-frequency oscillation mechanism analysis of flexible DC distribution system based on MMC
ZHANG Hao, PENG Ke, LIU Yingqi, et al.
- 84 Small disturbance stability analysis of multi-converter DC microgrid based on impedance network model
LIU Zhenxiang, ZHAO Jinbin, ZENG Zhiwei, et al.
- 42 Cascade stability analysis of double-bus DC microgrid
ZHANG Hui, DU Mingqiao, SUN Kai, et al.
- 49 Analysis of impedance stability and impedance coordinated reshaping control for flexible DC interconnection device in AC distribution network
TIAN Yanjun, WANG Kun, PENG Fei, et al.
- 55 Modeling and stability analysis of VSC with droop characteristic based on AC current
ZHAO Yutong, GAO Fei, ZHANG Boshen
- 64 Equivalent reduced-order modeling and control parameter design of medium-voltage DC distribution system
ZHU Lin, ZHAO Xueshen, WANG Yizhen, et al.
- 72 Reduced-order modeling and analysis of high-frequency oscillation stability in DC microgrid
LI Pengfei, GUO Li, WANG Hongda, et al.

CONTROL TECHNOLOGY TO IMPROVE SYSTEM TRANSIENT STABILITY

- 84 Key issues of modeling and operation control of flexible DC distribution system under non-ideal conditions
LIU Ziwen, TANG Yuan, ZHANG Yongjun, et al.
- 91 Dual current feedback control strategy for DC microgrid grid-connected converter
ZHI Na, ZHAO Jiabao, MING Xu
- 98 Data-driven based secondary control for islanded DC microgrid
MI Yang, CHANG Junfei, SHI Shuai, et al.
- 106 Flexible power control and voltage suppression strategy for hybrid AC / DC distribution system with multi-microgrids
LI Song, LI Jianwei, DONG Yunfei, et al.
- 113 Flexible virtual inertial control strategy of photovoltaic-energy storage DC distribution network
LIU Yingpei, ZHOU Suwen, LIANG Haiping, et al.
- 120 Decentralized bidirectional voltage support control method available for multi-voltage level DC distribution network
SI Xinyao, ZHAO Jinghan, YU Miao, et al.
- 127 Undisturbed grid-connected strategy of offline DC transformer based on smooth switching of control modes
ZHANG Weiming, XU Jiazhu, CHEN Qing, et al.
- 135 Grading coordinated control strategy of multi-state operation for DC microgrid cluster
ZHU Xiaorong, ZHAO Chenghao, MA Yingqiao
- 159 Dynamic stability control strategy of DC microgrid based on additional electric quantity
FU Yuan, SHAO Xinyu, ZHAO Xinyan, et al.
- 151 Fast defense strategy of false data injection attack in DC microgrid based on data-driven
YANG Yixian, GUO Li, WANG Hongda, et al.

Competent Authorities China Huadian Corporation Ltd.

Sponsor Nanjing Electric Power Automation Research Institute Co., Ltd.

Guodian Nanjing Automation Co., Ltd.

Chairman WANG Hongzhi

Editor in Chief GUO Xiaojun

Web Site www.epae.cn

Publication Number ISSN 1006-6047

Editor and Publisher Electric Power Automation Equipment
Editorial Department

Add 8 Xinghuo Road, Pukou District, Nanjing, China

Post Code 210032

Tel 86-25-51859278, 83537347, 83537349

E-mail epae@sac-china.com

- 159 Operation resilience enhancing strategy of DC microgrid based on model predictive controlled hybrid energy storage system
ZHENG Zixuan, NI Fuyao, WANG Ying, et al.
- 202 Predictive current partition compensation control strategy for low inertia DC microgrid interfaced grid-connected converter
XU Hailiang, LIU Zhuangzhuang, WANG Shinan, et al.
- 174 State feedback voltage oscillation control technology of DC microgrid with constant power load
FU Yuan, WANG Yaoduo, ZHANG Xiangyu

CONTROL TECHNOLOGY OF DC FAULT RIDE THROUGH

- 182 Integrated fault ride through control for multi-port DC distribution system with distributed photovoltaic generation
JIA Ke, LI Juntao, CHEN Jinfeng, et al.
- 188 Fault section identification and fast recovery strategy for DC microgrid based on active detection
FENG Yibin, ZHANG Xuesong, WANG Xiangjin, et al.
- 195 Operating control strategy of advanced MMC based on fault-clearing special self-resistance module
ZHAO Siyuan, XU Kangtai, LANG Boyu, et al.
- 202 Optimal configuration method of fault current limiter and circuit breaker in flexible DC system considering multi-node condition constraint
WEI Wei, WANG Panbao, SUN Hongmei, et al.
- 209 Protection strategy of short circuit fault in radial DC microgrid
ZHANG Weiliang, ZHANG Hui, ZHI Na, et al.
- 218 Switch allocation of AC / DC hybrid distribution network considering requirements of sensitive loads and DC fault restoration ability
TANG Wei, WANG Chen, ZHANG Lu, et al.

DEMONSTRATION PROJECT AND KEY DEVICE

- 231 Current situation and prospect of demonstration projects of DC distribution system
JIANG Songhan, PENG Ke, XU Bingyin, et al.
- 246 Review of topology and control strategy of medium- and low-voltage DC transformer
LIU Bei, TU Chunming, XIAO Fan, et al.
- 253 Dual Buck / Boost flexible interconnected switch for low voltage DC distribution network
WANG Jingyue, PEI Zhongchen, LIU Chuang, et al.
- 260 Flexible interconnection strategy between DC microgrid and AC distribution grid based on energy storage flexible multi-state switch
YANG Wanli, TU Chunming, LAN Zheng, et al.

《电力自动化设备》部分重点专题汇集

近年来，结合中国能源与电力领域发展的新形势，《电力自动化设备》追踪行业热点问题，陆续推出了诸多重点专题。现整理部分专题信息如下，欢迎读者参阅。未来《电力自动化设备》亦将继续推出更多热点专题，敬请关注！



1 电力系统广义同步稳定性与宽频谐振稳定性专题

专题特约主编：浙江大学徐政教授



2 区块链技术在能源系统中的应用专题

专题特约主编：清华大学张宁副教授、上海交通大学陈思捷特别副研究员、清华大学康重庆教授



3 大型交直流混联电网运行控制与保护专题

专题特约主编：清华大学董新洲教授、中国电科院汤涌教授级高工、中国电科院卜广全教授级高工、清华大学王宾副研究员



4 综合能源系统安全分析与优化控制技术专题

专题特约主编：河海大学卫志农教授、天津大学王丹副教授、河海大学孙国强副教授



5 “智能电网+”专题

专题特约主编：河海大学鞠平教授、秦川副教授



6 智能电网与能源互联网环境下的信息物理融合系统专题

专题特约主编：浙江大学文福拴教授、香港中文大学（深圳）赵俊华教授



7 新能源与新负荷背景下的电网安全专题

专题特约主编：河海大学鞠平教授、余一平副教授



8 多能协同综合能源系统专题

专题特约主编：清华大学郭庆来副教授、广州供电局刘育权教授级高工



9 智能配电系统专题

专题特约主编：天津大学王守相教授