

ISSN 0258 - 8013
CODEN ZDGXER

中国电机工程学报

半月刊

第 43 卷 第 10 期

Proceedings of the CSEE

SEMIMONTHLY

Vol.43 No.10



5月
2023
2023-05-20 出版

ISSN 0258-8013



中国电机工程学会主办
THE CHINESE SOCIETY FOR ELECTRICAL ENGINEERING



中国电机工程学报

ZHONGGUO DIANJI GONGCHENG XUEBAO

第 43 卷

第 10 期 (总第 717 期)

2023 年 5 月 20 日

目 次

(论文电子版 <http://www.pcsee.org/CN/volumn/home.shtml>)

· 电力系统 ·

基于 MMC 的背靠背异步联网系统宽频带频率耦合阻抗模型及小信号稳定性分析

赵崇滨, 姜齐荣, 冯海全, 王鹏, 刘芮彤 (3691)

电力人工智能技术理论基础与发展展望(二): 自主学习与应用初探

蒲天骄, 张中浩, 谈元鹏, 莫文昊, 郭剑波 (3705)

定功率控制下柔性直流输电系统交流侧导纳矩阵建模及频率耦合抑制策略研究

刘岳坤, 汪娟娟, 王泽昊, 陈威, 叶运铭, 傅闯, 冯俊杰 (3718)

考虑 VSC 控制策略的交直流混合电网潮流计算

王学奎, 彭春华, 孙惠娟 (3731)

基于故障前行波极值时间的柔性直流线路单端量保护方法

陈森, 贾科, 姚昆鹏, 刘鑫, 温志文, 毕天姝 (3742)

电力市场环境区域和省级电网协同安全校核及校正

蔡帆, 张国芳, 王森, 张弛, 孙毅, 孙永超 (3758)

列车混运的车网系统低频振荡建模与分析

孔睿, 吕晓琴, 王晓茹, 常明远, 葛茗瑞 (3768)

基于机会约束规划的含智能楼宇主动配电网分布式能量管理策略

苏粟, 李泽宁, 靳小龙, 夏明超, 陈奇芳 (3781)

· 快报与评论 ·

基于广义短路比的多馈入系统强度量化原理与方法: 回顾、探讨与展望

周瑀涵, 辛焕海, 鞠平 (3794)

· 可再生能源与储能 ·

太阳能电池板自然通风冷却系统流动与传热的数值模拟

何锁盈, 苗佳雨, 赵斌, 吴学红, 耿哲, 鄂烽, 张淑贞, 高明 (3811)

风机叶片精准巡视的无人机控制策略研究

焦嵩鸣, 白健鹏, 首云锋 (3822)

基于有源节点序阻抗模型的风电场稳定性分析及其振荡参与风险评估方法

张东辉, 陈新, 张旻, 陈杰, 汪海蛟, 何国庆, 郭小龙 (3832)

电力电子主导的交直流混联电网振荡分析与评估

宗皓翔, 张琛, 蔡旭 (3844)

· 发电 ·

SCR 脱硝系统的反演积分滑模控制方法研究

黄宇, 高鹏, 谷赫, 王东风, 谢家乐 (3856)

污泥粉燃烧的成灰行为及颗粒物生成特性

戚振贤, 孙权, 盛昌栋 (3865)

中国燃煤电厂烟气汞的减排潜力研究

王家新, 孙雪丽, 朱法华, 许月阳, 李辉 (3875)

热-重力驱动的新型无泵 ORC 系统性能实验研究

朱涵玉, 张雪峰, 王丽伟, 王紫璇 (3885)

超超临界汽轮机补汽结构流动特性与损失分布

曹丽华, 赵都都, 司和勇 (3894)

· 电力电子 ·

锁相环对锁相环型并网变换器有功/无功电流激励-内电势幅值/频率响应关系的影响机制研究

龚轩, 袁小明, 胡家兵 (3904)

基于随机森林二分类器的模块化多电平换流器子模块开路故障检测方法

杨贺雅, 邢纹硕, 陈聪, 张伟, 李成敏, 向鑫, 李武华 (3916)

高可靠三电平逆变器构造方法研究

王晓标, 肖华平, 牛晨晖, 姚中原, 肖华锋 (3928)

高渗透率下一种提高 LCL 滤波并网逆变器鲁棒性的新型锁相环设计方案

杨明, 赵月圆, 杨杰, 胡梦圆, 解宝 (3938)

半控和全控器件串联的耦合关断模型及协调配合策略

展瑞琦, 叶蕴霞, 夏嘉航, 赵成勇, 郭春义 (3949)

基于对偶原理的 IGBT 并联均流缓冲电路研究

王嘉智, 吴小涛, 刘福临, 刘乾易, 邹润民 (3962)

· 电机及其系统 ·

基于场-路-运动耦合模型的超导电动悬浮系统垂向振动抑制方法研究

胡道宇, 冯馨月, 马逊, 沈胜兵, 张志华 (3972)

感应电机弱磁区转矩输出与电流动态性同步提升控制策略

张旭, 王勃, 于泳, 张静, 徐殿国 (3986)

双三相永磁同步发电机直流母线无电流传感器稳压控制

赵文祥, 郝亮, 和阳, 许德志 (3995)

· 高电压 ·

航空线缆的绝缘性能与检测综述

江军, 李治, 张本栋, 沈志邦, 李文源, 张潮海 (4005)

石墨烯增强铜钨合金触头耐磨损性能的分子模拟

韩智云, 任瀚文, 王梦溪, 李庆民, 邹亮, 丁一 (4022)

低温次大气压不均匀电场空气流注放电特性研究

赵志航, 魏新芳, 姚远航, 朱博, 聂洪岩, 李毅恒 (4034)

大伞裙结构对复合绝缘子积污特性的影响

吕玉坤, 魏壮, 王晶 (4046)

· 电气基础与前沿交叉 ·

光学电流传感层叠抗外磁干扰技术研究

李岩松, 梁卓航, 刘君 (4055)

平面变压器绕组损耗改进二维混合计算方法

赵志刚, 张学增, 赵瑞, 毕紫莉, 徐海 (4069)

一种新型窄磁铁聚焦式电磁超声表面波换能器

刘素贞, 刘继伦, 张闯, 柴克, 齐磊, 杨庆新 (4079)

· 英文概述见论文电子版 ·

PROCEEDINGS OF THE CHINESE SOCIETY FOR
ELECTRICAL ENGINEERING
(PROCEEDINGS OF THE CSEE)

Vol.43 No.10 (Ser. 717)

May 20, 2023

CONTENTS

(Electronic Journals <http://www.pcsee.org/EN/volumn/current.shtml>)

• **Power Systems** •

- Frequency-coupling Impedance Model and Small-signal Stability Analysis of the MMC-based Back-to-back Asynchronous Grid Interconnection System..... ZHAO Chongbin, JIANG Qirong, FENG Haiquan, WANG Peng, LIU Ruitong (3691)
- Theoretical Primer and Directions of Electric Power Artificial Intelligence (II): Self-directed Learning and Preliminary Application..... PU Tianjiao, ZHANG Zhonghao, TAN Yuanpeng, MO Wenhao, GUO Jianbo (3705)
- Research on AC Admittance Matrix Modeling and Frequency Coupling Effect of MMC-HVDC Under Power Control..... LIU Yuekun, WANG Juanjuan, WANG Zehao, CHEN Wei, YE Yunming, FU Chuang, FENG Junjie (3718)
- Power Flow Calculation of AC/DC Hybrid Power Grid Considering VSC Control Strategy..... WANG Xuekui, PENG Chunhua, SUN Huijuan (3731)
- Single-ended Protection Method of Flexible DC Line Based on Extremum Time of Fault Forward Traveling Wave..... CHEN Miao, JIA Ke, YAO Kunpeng, LIU Xin, WEN Zhiwen, BI Tianshu (3742)
- Collaborative Security Check and Correction of Regional and Provincial Power Grids Under the Environment of Power Market..... CAI Zhi, ZHANG Guofang, WANG Miao, ZHANG Chi, SUN Yi, SUN Yongchao (3758)
- Modeling and Analysis of Low Frequency Oscillation in Train-network System Under Mixed Operation of Trains..... KONG Rui, LYU Xiaojin, WANG Xiaoru, CHANG Mingyuan, GE Mingrui (3768)
- Distributed Energy Management Strategy for Active Distribution Network Incorporating Intelligent Buildings Based on Chance-constrained Programming..... SU Su, LI Zening, JIN Xiaolong, XIA Mingchao, CHEN Qifang (3781)

• **Letters and Reviews** •

- System Strength Quantification Principle and Method of Multi-infeed Systems Based on Generalized Short-circuit Ratio: Reviews, Discussions and Outlooks..... ZHOU Yuhan, XIN Huanhai, JU Ping (3794)

• **Renewables and Energy Storage** •

- Numerical Simulation on Flow and Heat Transfer in Natural Draft Cooling System of Solar Panels..... HE Suoying, MIAO Jiayu, ZHAO Bin, WU Xuehong, GENG Zhe, FENG Feng, ZHANG Shuzhen, GAO Ming (3811)
- Research on UAV Control Strategy for Accurate Inspection of Wind Turbine Blades..... JIAO Songming, BAI Jianpeng, SHOU Yunfeng (3822)
- Stability Analysis and Resonance Participation Risk Assessment of Wind Farm Based on Active Node Sequence Impedance Model..... ZHANG Donghui, CHEN Xin, ZHANG Yang, CHEN Jie, WANG Haijiao, HE Guoqing, GUO Xiaolong (3832)
- Oscillation Analysis and Evaluation of the Power Electronics-dominated Hybrid AC/DC Grid..... ZONG Haoxiang, ZHANG Chen, CAI Xu (3844)

• **Power Generation** •

- Research on Integral Inversion Sliding Mode Control of SCR Denitration System..... HUANG Yu, GAO Peng, GU He, WANG Dongfeng, XIE Jiale (3856)
- Behavior of Ash Formation and Characteristics of Particulate Matter Generation During the Combustion of Pulverized Sewage Sludge..... QI Zhenxian, SUN Quan, SHENG Changdong (3865)
- Potential Analysis of Mercury Emission Reduction in Flue Gas of Coal Fired Power Plants..... WANG Jiaxin, SUN Xueli, ZHU Fahua, XU Yueyang, LI Hui (3875)
- Experimental Investigation on a Novel Pumpless ORC System Driven by Thermal Energy and Gravity Potential..... ZHU Hanyu, ZHANG Xuefeng, WANG Liwei, WANG Zixuan (3885)
- Flow Characteristics and Loss Distribution of Overload Valve in Supercritical Steam Turbine..... CAO Lihua, ZHAO Dudu, SI Heyong (3894)

• **Power Electronics** •

- Influence Mechanism of PLL on Active/Reactive Current Excitation and Internal Voltage Amplitude/Frequency Response Relationship of PLL-based VSC..... GONG Xuan, YUAN Xiaoming, HU Jiabing (3904)
- A Fault Detection and Location Strategy for Sub-module Open-circuit Fault in Modular Multilevel Converters Based on Random Forest Binary Classifier..... YANG Heya, XING Wenshuo, CHEN Cong, ZHANG Wei, LI Chengmin, XIANG Xin, LI Wuhua (3916)
- Research on Highly Reliable Three-level Inverters Construction Principles..... WANG Xiaobiao, XIAO Huaping, NIU Chenhui, YAO Zhongyuan, XIAO Huafeng (3928)
- A New Phase-locked Loop Design Scheme to Improve the Robustness of LCL Filtered Grid-connected Inverters Under High Permeability..... YANG Ming, ZHAO Yueyuan, YANG Jie, HU Mengyuan, XIE Bao (3938)
- Coupled Turn-off Model and Coordination Strategy of Semi-controlled and Fully-controlled Devices in Series..... ZHAN Ruiqi, YE Yunxia, XIA Jiahang, ZHAO Chengyong, GUO Chunyi (3949)
- Research on Current Sharing Snubber of Parallel IGBTs Based on Duality Principle..... WANG Jiazhi, WU Xiaotao, LIU Fulin, LIU Qianyi, ZOU Runmin (3962)

• **Motors and Their Systems** •

- Study on Vertical Vibration Suppression Methods of Superconducting Electrodynamical Suspension System With a Field-circuit-motion Model..... HU Daoyu, FENG Xinyue, MA Xun, SHEN Shengbing, ZHANG Zhihua (3972)
- Induction Motor Field-weakening Control Strategy for Improvement of Torque Output and Current Dynamic..... ZHANG Xu, WANG Bo, YU Yong, ZHANG Jing, XU Dianguo (3986)
- Voltage Stabilization Control for Dual Three-phase Permanent Magnet Synchronous Generator Without DC-bus Current Sensor..... ZHAO Wenxiang, HAO Liang, HE Yang, XU Dezhi (3995)

• **High Voltage** •

- A Review on Insulation Performance and Detection for Aeronautical Cables..... JIANG Jun, LI Zhi, ZHANG Bendong, SHEN Zhibang, LI Wenyuan, ZHANG Chaohai (4005)
- Molecular Simulation of Anti-abrasion Property of Graphene-reinforced Copper-tungsten Alloy Contacts..... HAN Zhiyun, RENG Hanwen, WANG Mengxi, LI Qingmin, ZOU Liang, DING Yi (4022)
- Study on Discharge Characteristics of Non-uniform Electric Field Air Streamer at Low Temperature and Sub Atmospheric Pressure..... ZHAO Zhihang, WEI Xinlao, YAO Yuanhang, ZHU Bo, NIE Hongyan, LI Yiheng (4034)
- Influence of Large Shed Structure on Contamination Accumulation Characteristics of Composite Insulator..... LYU Yukun, WEI Zhuang, WANG Jing (4046)

• **Fundamental Researches and Frontier Interdiscipline Studies for Electrical Engineering** •

- Research on the Technology of Optical Current Sensing Stacked-up Structure to Resist External Magnetic Interference..... LI Yansong, LIANG Zhuohang, LIU Jun (4055)
- Improved Method of Planar Transformer Winding Loss Based on Two-dimensional Model..... ZHAO Zhigang, ZHANG Xuezheng, ZHAO Rui, BI Zili, XU Hai (4069)
- A New Electromagnetic Acoustic Transducer Design With Narrow Magnet for Generating Focused Surface Wave..... LIU Suzhen, LIU Jilun, ZHANG Chuang, CHAI Ke, QI Lei, YANG Qingxin (4079)

• **For Extended Summaries, Please See the Electronic Journals** •

《中国电机工程学报》第五届编辑委员会成员

主任委员：舒印彪

副主任委员：林铭山 郑健超 周孝信 郭剑波 赵 鹏 苏立新

委 员：丁玉剑 王成山 王 东 王伟胜 王树民 文劲宇 卢啸风 帅智康 付 昶 司凤琪 毕天姝
(按姓氏笔画排序) 吕俊复 朱法华 刘 东 刘进军 汤广福 汤 涌 许世森 许建中 孙华东 孙宏斌 孙秋野
杜小泽 杜 雄 李子欣 李立毅 李庆民 李兴文 李武华 李国庆 李 鹏 杨寿敏 杨晓峰
肖 飞 吴广宁 吴云喜 吴少华 别朝红 何正友 何湘宁 邹继斌 辛焕海 宋文胜 张小平
张东霞 张书琦 张 宁 张 兴 张卓然 陈阿莲 陈 武 陈海生 邵 涛 林湘宁 罗皓泽
和敬涵 周 昊 周 波 郑 超 赵文祥 荣命哲 胡家兵 姚良忠 姚 洪 徐殿国 涂春鸣
梅生伟 曹一家 崔 翔 康重庆 程 明 曾 嵘 谢永慧 蔡小舒 蔡宁生 廖瑞金 穆 钢
戴朝波

顾 问：丁 明 马伟明 王锡凡 丰镇平 朱宝田 危师让 刘吉臻 刘建明 孙元章 李文沅 杨奇逊
(按姓氏笔画排序) 吴青华 余贻鑫 宋永华 张文涛 张伯明 陈维江 金红光 赵淳生 郭烈锦 陶文铨 程时杰
Goran Strbac Saifur Rahman Chanan Singh Vijay Vittal

编委会秘书：韩 蕾

中国电机工程学报

(半月刊，1964 年创刊)

第 43 卷第 10 期 2023 年 5 月 20 日出版

版权所有

Proceedings of the CSEE

(Semimonthly, started in 1964)

Vol.43 No.10 May 20, 2023

© 2023 Chinese Society for Electrical Engineering

主 管	中国科学技术协会	Competent Authority	China Association for Science and Technology
主 办	中国电机工程学会	Sponsor	Chinese Society for Electrical Engineering(CSEE)
主 编	汤 涌	Editor-in-Chief	Yong TANG
副 主 编	张东霞 穆 钢 杨寿敏 李武华 王 东	Associate Editor-in-Chief	Dongxia ZHANG Gang MU Shoumin YANG Wuhua LI Dong WANG
编 辑 出 版	《中国电机工程学报》编辑部	Publisher	Editorial Office of Proceedings of the CSEE
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	Address	Xiaoyingdonglu 15, Qinghe, Beijing 100192, China
编辑部主任	韩 蕾	Director	Lei HAN
编辑部副主任	乔宝榆	Deputy Director	Baoyu QIAO
编 辑	李泽荣 邱丽萍 吕鲜艳 李婧妍 胡琳琳 朱腾翌 刘雪莹 张文鑫 陈 娟	Editor	Zerong LI Liping QIU Xianyan LYU Jingyan LI Linlin HU Tengyi ZHU Xueying LIU Wenxin ZHANG Juan CHEN
电 话	010-82415657(传真) 010-82812534 010-82812972 010-82812973	Telephone	86-10-82415657(Fax) 86-10-82812534 86-10-82812972 86-10-82812973
电 子 邮 件	pcsee@epri.sgcc.com.cn	E-mail	pcsee@epri.sgcc.com.cn
网 址	www.pcsee.org	Website	www.pcsee.org
印 刷	北京科信印刷有限公司	Printed by	Beijing Kexin Printing Co., Ltd.
国 内 发 行	北京报刊发行局	Domestic Distributor	Beijing Newspaper and Periodical Distribution Bureau
国 外 发 行	中国国际图书贸易集团有限公司	Overseas Distributor	China International Book Trading Corporation
国际刊名代码	ZDGXER	CODEN	ZDGXER

中国标准连续出版物号：ISSN 0258-8013
CN 11-2107/TM

邮发代号：国际M5746
国内82-327

国内定价：每册 84 元 全年 2016 元