

HIGH VOLTAGE ENGINEERING

高电压技术



Compendex 核心期刊

环保型管道输电关键技术专题

October 2018 Vol.44, No.10

NARI 南瑞集团有限公司
NARI GROUP CORPORATION

国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司
WUHAN NARI LIMITED LIABILITY COMPANY OF STATE GRID POWER RESEARCH INSTITUTE

雷电监测与防护整体解决方案

为客户提供专业的雷害灾前有效预防、灾中实况监测、灾后快速处置

目次

环保型管道输电关键技术专题

环保型气体绝缘输电线路（GIL）技术发展	高克利, 颜湘莲, 王浩, 何洁, 李志兵, 柏长宇, 刘焱, 黄河(3105)
环保型绝缘气体电气特性研究进展	周文俊, 郑宇, 高克利, 陈维江, 苏镇西, 喻剑辉(3114)
1100 kV GIL 快速接地开关分闸过程 C ₄ F ₇ N/CO ₂ 混合气体介质绝缘强度计算分析	徐建源, 刘振祥, 夏亚龙, 孙岗, 谭盛武, 林莘(3125)
活性氧化铝对新型环保绝缘气体 C ₃ F ₇ CN/N ₂ 及其放电分解产物吸附特性	肖淞, 张季, 张晓星, 陈达畅, 傅明利, 唐炬, 李祎(3135)
直流 GIL 中球状自由导电微粒的运动及陷阱抑制	汪佛池, 杨磊, 曹东亮, 汪鑫, 程祥瑞(3141)
高气压 CF ₃ I-N ₂ 混合气体雷电冲击耐受特性及其在 GIL 中的应用	谭东现, 周柏杰, 蔡凡一, 薛健, 肖登明(3150)
C ₃ F ₇ CN/CO ₂ 混合气体在准均匀电场中的绝缘性能	张英, 陈琪, 张晓星, 李祎, 张季, 肖淞(3158)
特高压 GIL 三支柱绝缘子结构参数分析与优化	吴泽华, 王浩然, 田汇冬, 郭子豪, 刘丽岚, 彭宗仁(3165)
电晕放电下全氟异丁腈(C ₄ F ₇ N)与空气混合气体的分解产物规律及其形成原因分析	赵明月, 韩冬, 荣文奇, 张国强(3174)
特高压交流 GIL 伸缩节损耗分析及结构改进	刘丽岚, 田汇冬, 吴泽华, 张鹏飞, 周建华, 彭宗仁(3183)

直流输电及大功率电力电子

适用于 VSC-MTDC 的改进下垂控制	王渝红, 陈勇, 曾琦, 李建, 王彪, 阳莉汶(3190)
基于广义 S 变换的高压直流输电线路边界保护	张艳霞, 李多多, 张帅, 李杰, 尹佳鑫(3197)
大功率 IGBT 模块及驱动电路综述	杨媛, 文阳, 李国玉(3207)
逆导型 IGBT 技术发展综述	吴郁, 刘晨静, 金锐, 王耀华, 刘钺杨, 温家良(3221)
LCL 滤波并网逆变器多速率重复控制策略	杨兴武, 陈磊, 牛梦娇(3231)
电磁式统一潮流控制器及其在环网潮流调节中的应用	吴烈鑫, 余梦泽, 李作红, 陈柏超, 田翠华, 康翦冰(3241)
基于混合型 MMC 全桥子模块比例的直流侧故障隔离电压研究	邓帅荣, 周念成, 王月月, 练睿, 冉立(3250)
考虑降低多馈入直流换相失败风险的动态无功补偿配置方法	周仕豪, 唐飞, 刘涤尘, 张谦, 王少辉, 殷巧玲(3258)
电容中点式三相四线制 SAPF 基于 PCHD 模型的无源控制策略	何睿钦, 杨宁, 崔承刚, 郭卫民, 陈辉(3266)
基于 LCC 谐振变换器的 PFU 充电系统恒流特性优化	段元起, 王德玉, 高鹤, 赵清林(3275)
基于简化导纳矩阵的快速频率响应分析方法	沈硕, 刘姚, 李晓萌, 宋怡雯, 饶宇飞, 巴宇(3284)

高压电磁效应及其特性

交流电晕放电特性数值计算分析(II)—电晕电流与电晕损失	蓝磊, 李威, 万保权, 陈小月, 何旺龄, 海景雯(3291)
特高压输电线路对邻近对空情报雷达站影响分析与实验研究	刘兴发, 干喆洲, 李妮, 张建功, 张业茂(3299)
纳秒脉冲作用下球形细胞电穿孔过程仿真	张玉, 张琳, 刘欣, 郭飞(3307)
闪电 VHF 信号延时叠加 DOA 估计方法与应用	汪涛, 石立华, 邱实, 付尚琛(3314)
基于注入法的某型无人机数据链电磁效应研究	杜宝舟, 陈亚洲, 高万峰, 刘丽丽, 程二威, 张冬晓(3322)
AgNWs/PVA 复合材料的非线性导电特性	赵世阳, 王庆国, 曲兆明, 王妍, 成伟(3328)
变压器式可控电抗器的新型磁集成结构分析	王田戈, 田铭兴, 张慧英, 贾志博(3333)

电网安全与运行

中压开关柜内部短路燃弧热-力效应研究综述	阮江军, 黎鹏, 黄道春, 张力, 魏梦婷, 龙明洋(3340)
基于稀疏表示的绝缘子紫外图谱闪络状态分类评估方法	刘云鹏, 纪欣欣, 裴少通, 王胜辉(3352)
±1100 kV 特高压直流换流阀用饱和电抗器的铁损及温度分布仿真	米彦, 邓胜初, 桂路, 欧阳文敏, 姚陈果, 李成祥(3359)
带有减震装置的±800 kV 特高压直流穿墙套管振动台试验研究	谢强, 王晓游, 胡蓉, 孙帮新, 杨振宇, 何畅(3368)

直流电网快速后备保护方案	洪 潮, 郭彦勋, 李海锋, 陈 雁, 张 野, 王 钢(3375)
基于 TOPSIS 和 CRITIC 法的电网关键节点识别	林冠强, 莫天文, 叶晓君, 韩 畅, 林振智, 王志奎(3383)
含储能单元的统一电能质量调节器功率协调控制策略	黄晓明, 范志华, 苗世洪, 许 丹, 吕文韬, 马智泉(3390)
基于一阶矢量谐振器的基波正负序分量及谐波检测方法	李彦林, 王乐三, 许 胜, 朱 勇, 杨 斌(3399)
基于风电波动平抑的储能配置影响因素	孙玉树, 张国伟, 唐西胜, 苗福丰, 王 平(3407)
基于混合潮流方程的区间潮流计算方法	廖小兵, 刘开培, 李曦野, 罗 骏, 吴 馨, 秦 亮(3417)
基于粒子群算法的微电网实时功率均分的改进下垂控制策略	李欣煜, 周建萍, 李泓青, 王 涛, 张纬舟, 茅大钧(3425)
计及电动汽车可调度能力的风/车协同参与机组组合策略	师景佳, 袁铁江, Saeed Ahmed Khan, 秦文萍, 韩肖清, 段贵钟(3433)

《 高电压技术 》编辑委员会

名誉主任委员 郑宝森													
主 任 委 员 张文亮													
副主任委员 郭剑波 汤 涌 关志成 李成榕 廖瑞金													
委 员 (以姓氏笔画为序)													
丁立健	马为民	王成山	王庆国	王新新	王黎明	文习山	文劲宇	卢新培	包家立	司马文霞	邬 雄	刘云鹏	
刘尚合	刘泽洪	江秀臣	闫克平	阮 矜	阮江军	杨迎建	李 剑	李 鹏	李立涅	李兴文	李庆民	李若梅	
李建林	李盛涛	杜伯学	严 萍	吴 锴	吴广宁	何金良	何俊佳	邱爱慈	邹积岩	陆佳政	陆家榆	陈小良	
陈庆国	陈维江	张芝涛	张乔根	邵 涛	周 浩	周远翔	郑健超	胡 毅	郝艳捧	赵 鹏	赵鸿飞	律方成	
饶 宏	徐 政	高克利	唐 炬	梅生伟	崔 翔	宿志一	董旭柱	蒋兴良	程时杰	曾 嵘	雷 民	雷清泉	
蔡 炜	潘 垣	薛禹胜											
Chengke Zhou(UK) E. Gockenbach(Germany) J. J. Smit(Holland) K. Hidaka(Japan) L. A. Dissado(UK) M. Farzaneh(Canada)													
M. Muhr(Austria) S. Grzybowski(USA) S. M. Gubanski(Sweden)													
特 约 顾 问													
伍志荣	李勇伟	李锐海	杨黎明	张 勤	吴根范	周文俊	梁曦东	舒立春					
单 位 编 委													
上海华普电缆公司 苏州工业园区海沃科技有限公司 陶氏化学(中国)投资有限公司													
国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司 武汉新电电气股份有限公司													

高电压技术 (月刊, 1975 年创刊)

《工程索引》(Ei) 核心期刊	《科学文摘》(SA, INSPEC) 收录期刊	《化学文摘》(CA) 收录期刊
《文摘杂志》(AJ) 收录期刊	日本科学技术社数据库 (JST) 收录期刊	《剑桥科学文摘》(CSA) 收录期刊
中国科学引文数据库(CSCD)核心期刊	RCCSE 中国权威学术期刊	中文核心期刊要目总览收录期刊
中国科技核心期刊		

主 管 单 位: 国家电网有限公司		印 刷: 武汉市宏达盛印务有限公司
主 办 单 位: 国家高电压计量站		国 内 发 行: 中国邮政集团公司湖北省分公司
中国电机工程学会		邮发代号 38-24
编 辑 出 版: 中国电科院期刊中心《高电压技术》编辑部		国 外 发 行: 中国国际图书贸易总公司 代号 M982
主 编: 郭剑波		国 内 定 价: 69.00 元/期
副 主 编: 胡 毅 赵 鹏 高克利		中国标准连续出版物号: ISSN 1003-6520
专 题 主 编: 高克利		CN 42-1239/TM
编辑部主任: 严 梦		国际刊名代码 (CODEN): GAJIE5
编 辑 部: (027) 59835528		广告发布登记编号: 鄂工商广登[2017]25 号
责 任 编 辑: 程子丰 陈 蔓		
广 告 发 行 部: (027) 59258041		
组 稿 编 辑: 程子丰		
传 真: (027) 59835529		
地 址: 湖北省武汉市珞喻路 143 号		
邮 政 编 码: 430074		
网 址: http://hve.epri.sgcc.com.cn		
电 子 信 箱: hve@epri.sgcc.com.cn		

微信二维码:



期刊基本参数: CN42-1239/TM * 1975 * m * A4 * 336 * zh * P* ¥69.00 * 6600 * 40 * 2018-10

CONTENTS

Key Technology of Environment-friendly Gas-insulated Transmission Line

Progress in Environment-friendly Gas-insulated Transmission Line (GIL).....GAO Keli, YAN Xianglian, WANG Hao, HE Jie, LI Zhibing, BAI Changyu, LIU Yan, HUANG He(3105)

Progress in Researching Electrical Characteristics of Environment-friendly Insulating Gases.....ZHOU Wenjun, ZHENG Yu, GAO Keli, CHEN Weijiang, SU Zhenxi, YU Jianhui(3114)

Calculation and Analysis on Dielectric Strength of C₄F₇N/CO₂ in 1 100 kV GIL HSGS During the Opening Process.....XU Jianyuan, LIU Zhenxiang, XIA Yalong, SUN Gang, TAN Shengwu, LIN Xin(3125)

Adsorption Characteristics of γ-Al₂O₃ for the Environment-friendly Insulating Medium C₃F₇CN/N₂ and Its Decomposition Products.....XIAO Song, ZHANG Ji, ZHANG Xiaoxing, CHEN Dachang, FU Mingli, TANG Ju, LI Yi(3135)

Motion and Trap Suppression of Spherical Free Conducting Particles in DC GIL.....WANG Fochi, YANG Lei, CAO Dongliang, WANG Xin, CHENG Xiangrui(3141)

Lighting Impulse Withstand Performances of High-pressure CF₃I-N₂ Gas Mixture and Its Application in GIL.....TAN Dongxian, ZHOU Baijie, CAI Fanyi, XUE Jian, XIAO Dengming(3150)

Insulation Performance of C₃F₇CN / CO₂ Gas Mixtures in Quasi-uniform Electric Field.....ZHANG Ying, CHEN Qi, ZHANG Xiaoxing, LI Yi, ZHANG Ji, XIAO Song(3158)

Structural Parameter Analysis and Optimization of Tri-post Insulator on UHVAC GIL.....WU Zehua, WANG Haoran, TIAN Huidong, GUO Zihao, LIU Lilan, PENG Zongren(3165)

Analysis of Decomposition By-products and Its Formation Mechanism of C₄F₇N/Air Mixed Gases Under AC Corona Discharge.....ZHAO Mingyue, HAN Dong, RONG Wenqi, ZHANG Guoqiang(3174)

Loss Analysis and Structure Improvement of Expansion Joint for UHV AC GIL.....LIU Lilan, TIAN Huidong, WU Zehua, ZHANG Pengfei, ZHOU Jianhua, PENG Zongren(3183)

HVDC Transmission and High-power Electronics

Improved Droop Control Strategy for VSC-MTDC.....WANG Yuhong, CHEN Yong, ZENG Qi, LI Jian, WANG Biao, YANG Liwen(3190)

Boundary Protection of HVDC Transmission Lines Based on Generalized S-transform.....ZHANG Yanxia, LI Duoduo, ZHANG Shuai, LI Jie, YIN Jiaxin(3197)

Review on High-power IGBT Module and Drive Circuit.....YANG Yuan, WEN Yang, LI Guoyu(3207)

Review of Reverse Conducting IGBT Technology Development.....WU Yu, LIU Chenjing, JIN Rui, WANG Yaohua, LIU Yueyang, WEN Jialiang(3221)

Multirate Repetitive Control Strategy for Grid-connected Inverter with LCL Filter.....YANG Xingwu, CHEN Lei, NIU Mengjiao(3231)

Electromagnetic Unified Power Flow Controller and Its Application in the Power Flow Control of Loop Network Power Grid.....WU Liexin, YU Mengze, LI Zuohong, CHEN Baichao, TIAN Cuihua, KANG Jianbing(3241)

Research on DC Fault Isolation Voltage Based on Proportions of Full Bridge Sub-modules of Hybrid MMC.....DENG Shuairong, ZHOU Niancheng, WANG Yueyue, LIAN Rui, RAN Li(3250)

Dynamic Reactive Power Compensation Configuration Method for Reducing the Risk of Commutation Failure in Multi-infeed DC System.....ZHOU Shihao, TANG Fei, LIU Dichen, ZHANG Qian, WANG Shaohui, YIN Qiaoling(3258)

Passivity-based Control Method of Mid-point Capacitor Three-phase Four-wire Shunt Active Power Filter Based on PCHD Model.....HE Ruiqin, YANG Ning, CUI Chenggang, GUO Weimin, CHEN Hui(3266)

Optimization for Constant Current Characteristics of PFU Charging System Based on LCC Resonant Converter.....DUAN Yuanchao, WANG Deyu, GAO He, ZHAO Qinglin(3275)

Fast Frequency Response Analysis Based on Reduced Admittance Matrix.....SHEN Shuo, LIU Rao, LI Xiaomeng, SONG Yiwen, RAO Yufei, BA Yu(3284)

High Voltage Electromagnetic Effects and Their Characteristics

Numerical Calculation and Research of Corona Characteristics in AC Corona Cage (II) — Corona Current and Corona Loss.....LAN Lei, LI Wei, WAN Baoquan, CHEN Xiaoyue, HE Wangling, HAI Jingwen(3291)

Analysis and Experimental Research on Electromagnetic Effect of UHV Transmission Lines to Air Defense Surveillance Radar Station Nearby.....LIU Xingfa, GAN Zheyuan, LI Ni, ZHANG Jiangong, ZHANG Yemao(3299)

Simulation of Electroporation Process of Spherical Cell with Nanosecond Pulsed Electric Fields.....ZHANG Yu, ZHANG Lin, LIU Xin, GUO Fei(3307)

Application of the Delay-sum Method in Lightning VHF DOA Estimation.....WANG Tao, SHI Lihua, QIU Shi, FU Shangchen(3314)

Research on Electromagnetic Effect of Unmanned Aerial Vehicle Data Link Based on Injection Method.....DU Baozhou, CHEN Yazhou, GAO Wanfeng, LIU Lili, CHENG Erwei, ZHANG Dongxiao(3322)

Nonlinear Conductive Characteristics of AgNWs/PVA Composites	ZHAO Shiyang, WANG Qingguo, QU Zhaoming, WANG Yan, CHENG Wei(3328)
Analysis of New-type Magnetic Integrated Structure for Controllable Reactor of Transformer Type	WANG Tiange, TIAN Mingxing, ZHANG Huiying, JIA Zhibo(3333)

Operation and Security of Power Grid

Review on Thermal-mechanical Effects Research of MV Switchgear Due to Internal Short Circuit Arcing	RUAN Jiangjun, LI Peng, HUANG Daochun, ZHANG Li, WEI Mengting, LONG Mingyang(3340)
Method for Evaluating Flashover State of Insulator Ultraviolet Image Based on Sparse Representation	LIU Yunpeng, JI Xinxin, PEI Shaotong, WANG Shenghui(3352)
Simulation Study on Iron-core Loss and Temperature Distribution of Saturable Reactor for ±1 100 kV UHVDC Converter Valves	MI Yan, DENG Shengchu, GUI Lu, OUYANG Wenmin, YAO Chenguo, LI Chengxiang(3359)
Shaking Table Tests on ±800 kV UHV DC Wall Bushing with Damper Devices	XIE Qiang, WANG Xiaoyou, HU Rong, SUN Bangxin, YANG Zhenyu, HE Chang(3368)
Fast Operating Backup Protection Scheme of DC Grid	HONG Chao, GUO Yanxun, LI Haifeng, CHEN Yan, ZHANG Ye, WANG Gang(3375)
Critical Node Identification of Power Networks Based on TOPSIS and CRITIC Methods	LIN Guanqiang, MO Tianwen, YE Xiaojun, HAN Chang, LIN Zhenzhi, WANG Zhikui(3383)
Coordinated Power Control Strategy of Unified Power Quality Conditioner with Energy Storage Unit	HUANG Xiaoming, FAN Zhihua, MIAO Shihong, XU Dan, LÜ Wentao, MA Zhiquan(3390)
Detection Method of Positive and Negative Sequence Components Based on One Order Vector Proportional-integral Resonant	LI Yanlin, WANG Lesan , XU Sheng, ZHU Yong, YANG Bin(3399)
Influential Factors of Sizing Energy Storage for Wind Power Fluctuation Mitigation	SUN Yushu, ZHANG Guowei, TANG Xisheng, MIAO Fufeng, WANG Ping(3407)
Interval Power Flow Calculation Method Based on Mixed Power Flow Equations	LIAO Xiaobing, LIU Kaipei, LI Yuye, LUO Jun, WU Xin, QIN Liang(3417)
Improved Droop Control Strategy for Real-time Power Sharing of Microgrid Based on Particle Swarm Optimization	LI Xinyu, ZHOU Jianping, LI Hongqing, WANG Tao, ZHANG Weizhou, MAO Dajun(3425)
Unit Commitment Strategy Considering Cooperated Dispatch of Electric Vehicles Based on Scheduling Capacity and Wind Power Generation	SHI Jingjia, YUAN Tiejia, Saeed Ahmed Khan, QIN Wenping, HAN Xiaoqing, DUAN Guizhong(3433)

Honorary Chairman of Editorial Committee		ZHENG Baosen				
Chairman of Editorial Committee		ZHANG Wenliang				
Vice Chairmen of Editorial Committee		GUO Jianbo	TANG Yong	GUAN Zhicheng	LI Chengrong	LIAO Ruijin
Members of Editorial Committee						
DING Lijian	MA Weimin	WANG Chengshan	WANG Qingguo	WANG Xinxin	WANG Liming	WEN Xishan
WEN Jinyu	LU Xinpei	BAO Jiali	SIMA Wenxia	WU Xiong	LIU Yunpeng	LIU Shanghe
LIU Zehong	JIANG Xiuchen	YAN Keping	RUAN Ling	RUAN Jiangjun	YANG Yingjian	LI Jian
LI Peng	LI Licheng	LI Xingwen	LI Qingmin	LI Ruomei	LI Jianlin	LI Shengtao
DU Boxue	YAN Ping	WU Kai	WU Guangning	HE Jinliang	HE Junjia	QIU Aici
ZOU Jiyan	LU Jiazheng	LU Jiayu	CHEN Xiaoliang	CHEN Qingguo	CHEN Weijiang	ZHANG Zhitao
ZHANG Qiaogen	SHAO Tao	ZHOU Hao	ZHOU Yuanxiang	ZHENG Jianchao	HU Yi	HAO Yanpeng
ZHAO Peng	ZHAO Hongfei	LÜ Fangcheng	RAO Hong	XU Zheng	GAO Keli	TANG Ju
MEI Shengwei	CUI Xiang	SU Zhiyi	DONG Xuzhu	JIANG Xingliang	CHENG Shijie	ZENG Rong
LEI Min	LEI Qingquan	CAI Wei	PAN Yuan	XUE Yusheng		
Chengke Zhou(UK)	E. Gockenbach (Germany)	J. J. Smit (Holland)	K. Hidaka (Japan)	L. A. Dissado (UK)		
M. Farzaneh (Canada)	M. Muhr (Austria)	S. Grzybowski (USA)	S. M. Gubanski (Sweden)			
Abstracted / Indexed in	Ei Compendex			Abstracts Journal		
	Science Abstracts (INSPEC)			Cambridge Scientific Abstracts		
	Chemical Abstracts			Japan Science & Technology Agency		
Competent Authorities	State Grid Corporation of China			Publication Number	ISSN 1003-6520	
Sponsors	National Center for High Voltage Measurement			CODEN	GAJIE5	
	Chinese Society for Electrical Engineering			Add	Wuhan 430074, China	
Editor and Publisher	High Voltage Engineering Editorial Department of CEPRI			Web Site	http://hve.epri.sgcc.com.cn	
Editor in Chief	GUO Jianbo			E-mail	hve@epri.sgcc.com.cn	
Director	YAN Meng			Tel	86-27-59835528, 59835518	
Editor in Charge	CHENG Zifeng			Fax	86-27-59835529	

专注高压特高压 共建全球能源互联

夯实全球能源互联网基础设施，加速“一带一路”战略落地，
亨通提供高压特高压全系列产品，支撑电网互通互联！



HENG TONG
GROUP

Cable
电力



参与国家电网昌吉-古泉特高压直流工程、酒泉-湖南特高压直流输电工程、锡盟-胜利输变电项目等重大电网建设。

海洋电力工程及超高压传输领域位居全球前五强



多元布局金融、投资、大数据、
互联网、新能源、文旅地产等产业



拥有 60 多家子公司
3 家上市公司
业务覆盖 120 多个国家和地区



中国企业 500 强
中国民营企业 100 强
全球光纤通信前 3 强



亨通集团微信订阅号



亨通电力产业集团
微信订阅号



亨通通信产业集团
微信订阅号

万方数据

国内统一连续出版物号:CN42-1239/TM 国内定价:69元/期