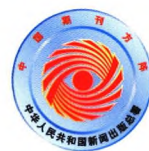


高电压技术

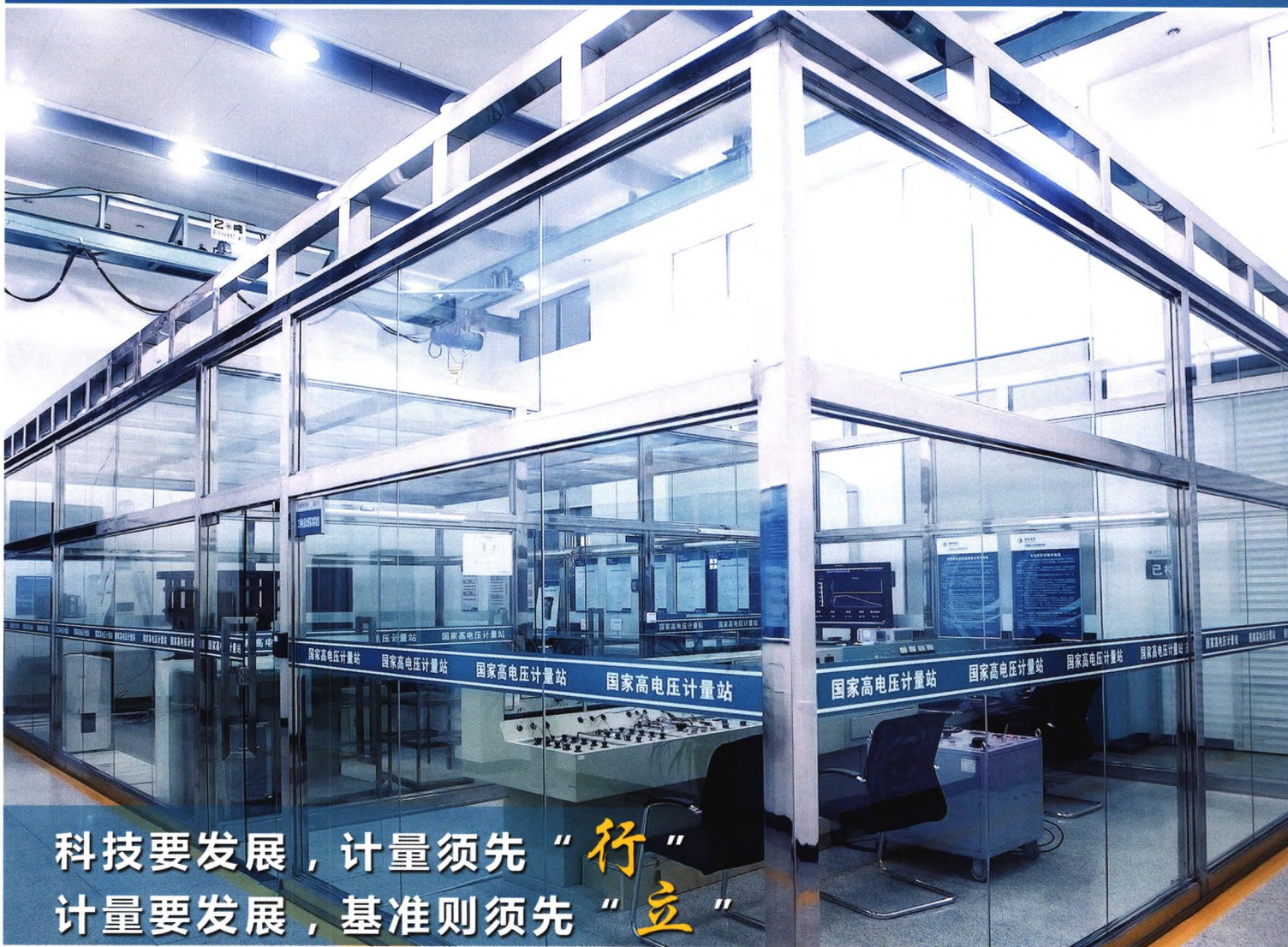


Compendex 核心期刊

高压大容量柔性直流电网关键技术专题

January 2019 Vol.45, No.1

国家高电压计量站



科技要发展，计量须先“行”
计量要发展，基准则须先“立”

国家工频电流比例基准作为整个电流比例量值传递溯源体系的源头，确保全国电流量值的准确和统一，是电能贸易结算公平公正、电力系统安全稳定运行的根本保障。



目 次

高压大容量柔性直流电网关键技术专题

阻容式直流断路器及其在柔直系统中的应用	王渝红, 王 媛, 曾 琦, 刘程卓(1)
具有直流故障阻断能力的 MMC 不对称型全桥子模块拓扑	李国庆, 宋禛子, 王国友(12)
双极柔性直流输电系统换流站交流三相接地故障分析及保护	薛士敏, 范勃阳, 刘 冲, 陆俊弛, 刘白冰(21)
基于混合开关器件的高压直流断路器拓扑	马 明, 尹靖元, 弓新月, 吴理心, 霍群海, 韦统振(31)
MMC-HVDC 启动过程用限流电阻保护策略	李 超, 李 钢, 董云龙, 胡文旺, 唐志军, 晁武杰(39)
基于晶闸管的混合式高压直流断路器重合闸控制策略	贾海鹏, 尹靖元, 李金科, 韦统振, 霍群海, 韩立博(46)
直流断路器用快速开关多场联合仿真优化方法	田 宇, 王 利, 田 阳, 李志兵, 董恩源(55)
基于并联 LCC 分流及反压抑制的柔性直流输电故障清除策略	廖建权, 周念成, 王强钢, 李春艳, 黄 星(63)
500 kV 柔性直流电网直流断路器操作过电压研究	韩 雪, 杨 鸣, 司马文霞, 袁 涛, 付峥争(72)

电介质与电气绝缘

气压和湿度对复合电压下换流阀高压电极起晕电压影响试验	齐 磊, 符瑜科, 李小萌, 李静怡, 卞星明, 李 伟(82)
ZnO/环氧树脂复合材料的耐电树枝能力	杨国清, 张琦炜, 王德意, 郭 玥, 李 平(91)
直流输电分布式接地极的建模分析	全江涛, 包立珠, 童 歆, 张 露, 阮 羚, 潘卓洪(97)
三电极结构流注放电试验平台	王纯洁, 王黎明, 梅红伟, 李 旭, 关志成(103)
气体绝缘介质 C ₄ F ₇ N 的急性吸入毒性试验	李 祎, 张晓星, 陈 琪, 肖 淞, 傅明利, 高亚东(109)
油浸式变压器匝间纸绝缘中水分扩散特性	高 萌, 张乔根, 丁玉琴, 王同磊, 倪鹤立, 袁炜雄(117)
冲击电压下 CF ₃ I/CO ₂ 混合气体间隙的绝缘特性与极性效应	赵 谥, 邓云坤, 张 辉, 薛 鹏, 肖登明(124)
160 kV 直流 XLPE 电缆绝缘的直流 E-t 特性	刘 霞, 于钦学, 刘明昊, 钟力生, 傅明利, 侯 帅(130)
温差对绝缘子污层受潮过程的影响	王凯琳, 王黎明, 赵晨龙, 周志成, 高 嵩(136)
高速荷电沙尘环境中环氧树脂绝缘子的闪络特性	俞孝峰, 吴广宁, 张血琴, 康永强, 刘毅杰, 王耀振(144)
±400 kV 青藏直流输电线路外绝缘的高海拔地区运行适应性研究	王生富, 康 钧, 曲全磊, 于鑫龙, 包正红, 李占林(152)

电气装备及其智能运维

气压对 SF ₆ 负极性直流局部放电分解特性的影响	唐 炬, 黎 可, 姚 强, 苗玉龙, 曾福平, 张潮海(159)
风机叶片运用超疏水涂层防覆冰的性能衰减	蒋兴良, 周洪宇, 何 凯, 杨忠毅, 胡玉耀(167)
水分在环氧树脂复合绝缘子护套中的渗透特性	王黎明, 聂章翔, 赵晨龙, 周 军, 耿卫斌(173)
电场作用下分子链的取向行为对水树老化电缆修复效果的影响	周 凯, 陈 讴, 黄 明, 李康乐, 李天华(181)
高寒地区车载柔性电缆终端的局部放电特性与破坏机理	周利军, 刘 源, 白龙雷, 朱少波, 王伟敏, 项恩新(189)
复合绝缘子脱粘缺陷的超声导波检测	邓红雷, 何战峰, 陈 力(196)
工频局部放电试验与雷电冲击耐受试验对 GIS 内局部电场集中缺陷检测的有效性	吴治诚, 马径坦, 王国利, 高 超, 张乔根(203)
基于行波反演的输电线路单相接地故障重演方法	梁涵卿, 刘亚东, 盛戈皞, 刘宗杰, 江秀臣(209)
复杂背景下电力线自动提取算法	赵 乐, 王先培, 代荡荡, 龙嘉川, 田 猛, 朱国威(218)

大功率电力电子与智能输配电

LCL 型磁耦合谐振式无线电能传输系统的设计方法研究与实现	赵靖英, 周思诺, 崔玉龙, 赵纪新, 李志刚, 李义鑫(228)
直流微电网基于等价输入干扰的自适应无源控制	杨 帆, 张峰毓, 李东东(236)
异步联网下多直流送出系统的功率稳定性分析及评价标准	陈义宣, 肖 亮, 李玲芳, 朱欣春, 彭俊春, 徐 政(243)
换流器同步机模拟控制中的小干扰稳定策略	管敏渊, 王锋华, 成敬周, 刘 然, 龚书能, 何 鹤(252)
单级式单相逆变器及其低频输入电流纹波抑制	史尤杰, 刘邦银, 段善旭(259)

新能源装备及其并网

计及综合成本的风电-光伏-光热联合出力调度策略	崔 杨, 杨志文, 张节潭, 王茂春, 严干贵(269)
新能源接入的直流电网功率平滑控制策略	万庆祝, 李俊涛, 迟忠君(276)
基于机群划分方法的风电场理论发电功率计算研究	张小奇, 张振宇, 孙晓强, 万筱钟, 王 勃(284)

脉冲功率与放电等离子体

- 针-板电极下 SF₆ 的电晕放电特性分析 徐建源, 陈会利, 林 莘, 李鑫涛, 苏 安, 李璐维(293)
旋磁型非线性传输线调制脉冲特性数值分析 铁维昊, 赵程光, 孟 萃, 何鹏军, 闫自让, 王俞卫(301)
激光二极管触发 GaAs 光导开关导通特性 谌 怡, 刘 毅, 王 卫, 叶 茂, 张 篁, 夏连胜(310)
工作频率及装置结构对射频感应等离子体特性影响的数值研究 陈文波, 陈伦江, 刘川东, 程昌明, 童洪辉, 朱海龙(316)

高电压电磁效应及其特性

- 基于 Hilbert 分形天线的弓网电弧电磁辐射研究 高国强, 颜 馨, 魏文赋, 胡 怡, 吴广宁(324)
基于无线通讯的直流合成场和离子流密度同步测量系统设计 张业茂, 路 遥, 王延召, 李 妮, 李 斌, 李煜磊(330)

《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 郭 雄 刘云鹏
刘尚合 刘泽洪 江秀臣 闫克平 阮 羚 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. 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

《文摘杂志》(AJ) 收录期刊

中国科学引文数据库(CSCD)核心期刊

中国科技核心期刊

《科学文摘》(SA, INSPEC) 收录期刊

日本科学技术社数据库(JST) 收录期刊

RCCSE 中国权威学术期刊

《化学文摘》(CA) 收录期刊

《剑桥科学文摘》(CSA) 收录期刊

中文核心期刊要目总览收录期刊

主 管 单 位: 国家电网有限公司

主 办 单 位: 国家高电压计量站

中国电机工程学会

编 辑 出 版: 中国电科院期刊中心《高电压技术》编辑部

主 编: 郭剑波

副 主 编: 胡 毅 赵 鹏 高克利

编 辑 部 主 任: 严 梦

编 辑 部: (027) 59835528

广 告 发 行 部: (027) 59258041

责 任 编 辑: 陈 蔓 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

印 刷: 武汉市宏达盛印务有限公司

国 内 发 行: 中国邮政集团公司湖北省分公司

邮发代号 38-24

国 外 发 行: 中国国际图书贸易总公司 代号 M982

国 内 定 价: 69.00 元/期

中国标准连续出版物号: ISSN 1003-6520

CN 42-1239/TM

国际刊名代码(CODEN): GAJIE5

广告发布登记编号: 鄂工商广登[2017]25 号

微信二维码:



期刊基本参数: CN42-1239/TM * 1975 * m * A4 * 336 * zh * P * ¥69.00 * 6600 * 43 * 2019-01

High Voltage Engineering

(Monthly, since 1975)

Vol. 45, No.1 (Ser. 314)

January 31, 2019

CONTENTS

Key Technology of High Power VSC-HVDC Grid

- Resistor and Capacitor Based DC Circuit Breaker and Its Application in Flexible DC System WANG Yuhong, WANG Yuan, ZENG Qi, LIU Chengzhuo(1)
- Asymmetric Full Bridge Sub-module Topology of MMC with DC Fault Blocking Capability LI Guoqing, SONG Zhenzi, WANG Guoyou(12)
- Fault Analysis and Protection Scheme for Converter AC Three-phase Grounding of Bipolar HVDC Systems XUE Shimin, FAN Boyang, LIU Chong, LU Junchi, LIU Baibing(21)
- Topology of High Voltage DC Circuit Breaker Based on Hybrid Switching Device MA Ming, YIN Jingyuan, GONG Xinyue, WU Lixin, HUO Qunhai, WEI Tongzhen(31)
- Protection Strategy of Current Suppression Resistor Used in MMC-HVDC Startup Process LI Chao, LI Gang, DONG Yunlong, HU Wenwang, TANG Zhijun, CHAO Wujie(39)
- Auto-reclosing Control Strategy of Thyristors-based High Voltage DC Hybrid Circuit Breaker JIA Haipeng, YIN Jingyuan, LI Jinke, WEI Tongzhen, HUO Qunhai, HAN Libo(46)
- Multi-field Co-simulation Optimization Method for High-speed Switch in DC Circuit Breaker TIAN Yu, WANG Li, TIAN Yang, LI Zhibing, DONG Enyuan(55)
- VSC-HVDC Fault Clearing Strategy Based on Parallel LCC Shunting and Inverse Voltage Suppression LIAO Jianquan, ZHOU Niancheng, WANG Qianggang, LI Chunyan, HUANG Xing(63)
- Study of Switching Overvoltage of DC Circuit Breaker in 500 kV VSC-based DC Grid HAN Xue, YANG Ming, SIMA Wenxia, YUAN Tao, FU Zhengzheng(72)

Dielectric and Electrical Insulation

- Effects of Air Pressure and Humidity on Corona Onset Voltage of High Voltage Electrode of Converter Valve Under Combined AC and DC Voltage QI Lei, FU Yuke, LI Xiaomeng, LI Jingyi, BIAN Xingming, LI Wei(82)
- Ability of Impedance on the Electrical Tree of ZnO/Epoxy Composites YANG Guoqing, ZHANG Qiwei, WANG Deyi, GUO Yue, LI Ping(91)
- Modeling Analysis of Distributed HVDC Ground Electrode QUAN Jiangtao, BAO Lizhu, TONG Xin, ZHANG Lu, RUAN Ling, PAN Zhuohong(97)
- Streamer Discharge Test Platform with Three-electrode Structure WANG Chunjie, WANG Liming, MEI Hongwei, LI Xu, GUAN Zhicheng(103)
- Acute Inhalation Toxicity Studies of Gas Insulating Medium C₄F₇N LI Yi, ZHANG Xiaoxing, CHEN Qi, XIAO Song, FU Mingli, GAO Yadong(109)
- Moisture Diffusion Characteristics in Turn-to-turn Paper Insulation of Oil-impregnated Transformers GAO Meng, ZHANG Qiaogen, DING Yuqin, WANG Tonglei, NI Heli, YUAN Weixiong(117)
- Insulation Property and Polarity Effect of Gas Gap of CF₃I/CO₂ Mixture Under Impulse Voltage ZHAO Su, DENG Yunkun, ZHANG Hui, XUE Peng, XIAO Dengming(124)
- DC *E-t* Characteristics of 160 kV DC XLPE Cable Insulation LIU Xia, YU Qinxue, LIU Minghao, ZHONG Lisheng, FU Mingli, HOU Shuai(130)
- Impact of Temperature Difference on Pollution Layer Wetting of Insulators WANG Kailin, WANG Liming, ZHAO Chenlong, ZHOU Zhicheng, GAO Song(136)
- Flashover Characteristics of Epoxy Resin Insulator in High-speed Charged Sand Environment YU Xiaofeng, WU Guangning, ZHANG Xueqin, KANG Yongqiang, LIU Yijie, WANG Yaozhen(144)
- Study on Operation Adaptability of External Insulation in ± 400 kV Qinghai-Tibet DC Transmission Lines in High Altitude Areas WANG Shengfu, KANG Jun, QU Quanlei, YU Xinglong, BAO Zhenghong, LI Zhanlin(152)

Development, Intelligent Operation and Maintenance of Power Equipments

- Influence of Atmospheric Pressure on the Decomposition Characteristics of SF₆ Under Partial Discharge at Negative Polarity DC Condition TANG Ju, LI Ke, YAO Qiang, MIAO Yulong, ZENG Fuping, ZHANG Chaohai(159)
- Anti-icing Performance Degradation for Wind Blades with Superhydrophobic Coatings JIANG Xingliang, ZHOU Hongyu, HE Kai, YANG Zhongyi, HU Yuyao(167)
- Water Permeation Characteristic in Cycloaliphatic Epoxy Resin Composite Insulator Sheath WANG Liming, NIE Zhangxiang, ZHAO Chenlong, ZHOU Jun, GENG Weibin(173)
- Influence of Orientation of Molecular Chains Caused by Electric Field on the Rejuvenation Effect of Water-tree Aged Cables ZHOU Kai, CHEN Ou, HUANG Ming, LI Kangle, LI Tianhua(181)
- Partial Discharge Characteristics and Breakdown Mechanism for Locomotive Cable Flexible Terminal in Alpine Area ZHOU Lijun, LIU Yuan, BAI Longlei, ZHU Shaobo, WANG Weimin, XIANG Enxin(189)
- Inspection of Debonding Defects of Composite Insulators by Ultrasonic Guide Wave DENG Honglei, HE Zhanfeng, CHEN Li(196)
- Effectiveness of Power-frequency Partial Discharge Tests and Lightning Impulse Withstand Tests to Detect Enhanced Partial Electrical Field Defects in GIS WU Zhicheng, MA Jingtian, WANG Guoli, GAO Chao, ZHANG Qiaogen(203)
- Reproduction Method for Monophase-to-ground Fault of Transmission Lines Based on Wave Inversion LIANG Hanqing, LIU Yadong, SHENG Gehao, LIU Zongjie, JIANG Qiuchen(209)
- Automatic Extraction Algorithm of Power Line in Complex Background ZHAO Le, WANG Xianpei, DAI Dangdang, LONG Jiachuan, TIAN Meng, ZHU Guowei(218)

High-power Electrical Electronics and Intelligent Transmission and Distribution

- Research and Implementation on Design Method for LCL Type Magnetically-coupled Resonant Wireless Power Transfer System ZHAO Jingying, ZHOU Sinuo, CUI Yulong, ZHAO Jixin, LI Zhigang, LI Yixin(228)
- Adaptive Passivity-based Control for DC Micro-grid Based on Equivalent Input Disturbance YANG Fan, ZHANG Fengyu, LI Dongdong(236)
- Analysis and Evaluation Criterion of Power Stability for Asynchronously Interconnected Multi-send HVDC Systems CHEN Yixuan, XIAO Liang, LI Lingfang, ZHU Xinchun, PENG Junchun, XU Zheng(243)
- Small-signal Stability Enhancement Scheme for the Synchronous Generator Emulation Control of Voltage Source Converter GUAN Minyuan, WANG Fenghua, CHENG Jingzhou, LIU Ran, GONG Shuneng, HE He(252)
- Single-stage Single-phase Inverter and Its Low-frequency Input Current Ripple Reduction SHI Youjie, LIU Bangyin, DUAN Shanxu(259)

Development and Grid Entry of New Energy Equipments

- Scheduling Strategy of Wind Power-Photovoltaic Power-Concentrating Solar Power Considering Comprehensive Costs CUI Yang, YANG Zhiwen, ZHANG Jietan, WANG Maochun, YAN Gangui(269)
- Power Smoothing Control Strategy for Renewable-energy-based DC Grid WAN Qingzhu, LI Juntao, CHI Zhongjun(276)
- Research on Theoretical Power of Wind Farm Based on Wind Turbine Grouping Method ZHANG Xiaoli, ZHANG Zhenyu, SUN Xiaoqiang, WAN Xiaozhong, WANG Bo(284)

Pulsed Power, Discharge and Plasmas

- Analysis of Corona Discharge Characteristics of SF₆ Under Pin-plate Electrodes XU Jianyuan, CHEN Huili, LIN Xin, LI Xintao, SU An, LI Luwei(293)
- Numerical Analysis on Modulated RF Pulse Characteristics of Gyro-magnetic Nonlinear Transmission Line TIE Weihao, ZHAO Chengguang, MENG Cui, HE Pengjun, YAN Zirang, WANG Yuwei(301)
- On-state Properties of GaAs Photoconductive Semiconductor Switch Triggered by Laser Diode SHEN Yi, LIU Yi, WANG Wei, YE Mao, ZHANG Huang, XIA Liansheng(310)
- Numerical Study on Influence of Operating Frequency and Plasma Torch Structure on Characteristics of Radio-frequency-inductive Coupled Plasma CHEN Wenbo, CHEN Lunjiang, LIU Chuandong, CHENG Changming, TONG Honghui, ZHU Hailong(316)

High Voltage Electromagnetic Effects and Their Characteristics

- Electromagnetic Radiation of Pantograph-catenary Arc Based on Hilbert Fractal Antenna GAO Guoqiang, YAN Xin, WEI Wenfu, HU Yi, WU Guangning(324)
- Design of Synchronous Measurement System for Total Electric Field and Ion Current Density Based on Wireless Communication ZHANG Yemao, LU Yao, WANG Yanzhao, LI Ni, LI Bin, LI Yulei(330)

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 Shengtiao
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. 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	CHEN Man	Fax 86-27-59835529

连接全球电缆 · 光明万户千家

未来已来 一“缆”天下 互联全球

长缆科技 500 kV 交直流电缆附件 新产品新技术通过鉴定

2018年11月，长缆电工科技股份有限公司（以下简称“长缆科技”）顺利通过“290/500 kV 交联聚乙烯绝缘电力电缆附件”产品鉴定及“±525 kV(±535 kV)交联聚乙烯绝缘直流电缆附件”技术鉴定。

鉴定委员会一致认为，长缆科技研制的500 kV电缆附件产品达到了国际先进水平，可以批量生产；525 (535) kV直流电缆附件产品技术，达到了国际先进水平，破解了行业发展瓶颈，实现了多项关键技术自主研发，解决了目前国内高压直流电缆发展面临的技术难点，将有力地推动行业的发展。



主要产品：1-500 kV交流电缆附件、320 kV及以下直流电缆附件、智能在线监测系列产品、箱柜开关系列产品、电缆敷设机具和施工工具、连接金具、接地装置系列产品及自粘带、防水带、防火带、绝缘胶等绝缘材料。

地址：湖南省长沙市高新区麓谷工业园桐梓坡西路223号 邮编：410205 网址：www.clkj.com.cn
销售热线/传真：0731-85521148 85512244 (传真) 电子邮箱：csdlfjwd@vip.163.com
技术支持热线/传真：0731-85524726 88919461 (传真)

股票简称：长缆科技 | 股票代码：002879

万方数据

国内统一连续出版物号：CN42-1239/TM 国内定价：69元/期