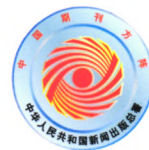


# 高电压技术



Compendex 核心期刊

半波长交流输电技术专题、规模化储能基础及共性关键问题专题

January 2018 Vol.44, No.1

## 国家高电压计量站



### 国家高电压计量站大型现场技术服务团队

为特高压工程建设提供坚强的技术和装备支撑



## 目 次

### 半波长交流输电技术专题

“半波长交流输电技术”专题前言.....高克利, 班连庚(1)

用于半波长输电线路的精细化传输线模型.....焦重庆, 汪 贝, 李昱蓉, 孙谊嫒, 祁晓笑(3)

特高压半波长交流输电系统过电压特性及对策.....韩 彬, 王 平, 张媛媛, 班连庚, 项祖涛, 谷 鹏(14)

特高压半波长交流输电系统断路器瞬态恢复电压特性研究.....王 平, 韩 彬, 张媛媛, 项祖涛, 班连庚(22)

半波长输电系统运行特性的全电磁暂态仿真研究.....董 鹏, 朱艺颖, 习工伟, 乔小敏, 黄少锋(29)

半波长交流输电线路保护测试技术.....詹荣荣, 孟江雯, 余 越, 杜丁香, 詹智华(37)

实用的半波长输电线路纵联差动保护.....赵青春, 谢 华, 陆金凤, 朱晓彤(44)

基于频长因子极点分布特征的半波长交流输电线路谐波传输特性分析.....周胜军, 陈 畅, 谈 萌, 杨洪耕, 于永军(51)

基于注入功率在线补偿抑制半波长输电线路潜供电弧的仿真研究.....丛浩熹, 李庆民(59)

混联半波长交流输电线路最优配比及联网性能研究.....梁涵卿, 刘亚东, 万 磊, 盛戈皞, 江秀臣(65)

特高压半波长与直流混联系统的暂态建模与稳定性分析.....赵倩宇, 王守相, 秦晓辉, 张彦涛, 姜懿郎(75)

特高压半波长输电系统电压特性分析.....田 浩, 刘玉田, 杨 冬, 秦晓辉(83)

基于模态分析的半波长交流输电系统与风电场并网谐振研究.....谈 萌, 彭祥华, 王同勋, 杨洪耕, 于致清, 陈 畅(90)

基于 MMC 的半波长交流输电变频调谐技术.....周 攀, 汪大洋, 戴朝波, 荆 平, 赵成勇, 倪玉聪(99)

### 规模化储能基础及共性关键问题专题

锂离子电池安全防护技术专利分析.....惠 东, 高 飞, 杨 凯, 惠 娜, 陈 蕾, 张 晰(106)

具有直流电机特性的储能接口变换器控制策略.....张 辉, 谭树成, 肖 曦, 支 娜(119)

基于多变量模糊控制的直流微网混合储能策略.....李凤婷, 曾祥军, 夏令琴(126)

PI 控制下储能并网 PCS 多机并联稳定性分析.....薛宇石, 徐少华, 李建林, 惠 东(136)

面向电网全调频过程的高倍率钛酸锂电池容量配置.....黎淑娟, 李欣然, 黄际元, 孟 娅, 亓学忠, 方 芳(145)

钛酸锂电池胀气程度与循环性能的关系研究.....王瑜东, 杨 凯, 高 飞, 段舒宁, 张明杰, 陈慧敏(152)

考虑蓄电池荷电状态的孤岛直流微网多源协调控制策略.....王 琛, 孟建辉, 王 毅, 李春来(160)

快速收敛的梯次电池成组技术.....李圆圆, 霍 炜, 朱智富, 张 翼, 陈 冲, 李水根(169)

风电-氢储能与煤化工多能耦合系统能量协调控制策略.....段青熙, 袁铁江, 梅生伟, 陈 洁(176)

### 输配电设备状态评价与故障诊断

干式变压器环氧树脂热老化特性研究.....王有元, 王施又, 黄炎光, 易 鹭, 蔡亚楠(187)

隔板尺寸对棒-板空气绝缘间隙工频耐压特性的影响.....郑跃胜, 陈 雍, 钟小燕, 缪希仁(195)

涉及绝缘材料的悬浮电位缺陷下的 SF<sub>6</sub> 分解特性.....汲胜昌, 高 璐, 钟理鹏, 祝令瑜, 王文浩, 何文林(201)

深度限制特高压系统操作过电压的可行性分析.....何金良, 邬锦波, 孟鹏飞, 胡 军(210)

特高压变压器直流偏磁空载电流实时计算.....王泽忠, 邓 涛, 谭瑞娟, 杨箫箫, 刘连光(218)

基于小波分析和时域介电谱的变压器油纸绝缘老化状态评估.....吴广宁, 夏国强, 宋臻杰, 高天山, 高 波(226)

气体绝缘组合电器中局部放电高频信号 S 参数特性仿真与实验研究.....王彦博, 朱明晓, 邵先军, 钱 平, 邓军波, 张冠军(234)

氧化锌压敏电阻综合性能的多元掺杂综合调控.....孟鹏飞, 胡 军, 邬锦波, 何金良(241)

### 电磁兼容与工程电磁场

新型复合脉冲不可逆电穿孔治疗肿瘤关键技术及临床应用研究进展.....姚陈果(248)

高海拔特高压直流线路电磁环境特性研究.....王国利, 李 敏, 刘 磊, 李 斌, 曾 嵘, 余占清(264)

三维脉冲电场传感器的建模仿真与设计.....严雪飞, 朱长青(275)

混响室与均匀场辐射敏感度测试相关性研究.....胡德洲, 魏光辉, 潘晓东, 纪凯夫(282)

输电线路电磁环境试验数据清理方法研究.....付 殷, 余占清, 曾 嵘, 刘 磊, 李 敏, 庄池杰(289)

## 电网安全与运行

- 计及电动汽车增程器效率优化的 PWM 变换器 MFPR 控制策略..... 王晓远, 吕海英, 孙 强(296)
- 基于实际工程控制系统的直流受扰特性分析—电压快速波动下整流端特性及其优化.....  
..... 郑 超, 霍 超, 摆世彬, 吕思卓, 李惠玲, 张 鑫(304)
- 应用于三相并网系统的电网电压快速锁相技术研究..... 赵红雁, 郑琼林, 李 艳, 李丹勇(314)
- 基于能量函数与不完全椭圆积分的多机系统低频振荡频率分析..... 弥 潇, 王 杰, 王 芮(321)
- 特高压直流分层接入系统换相失败预防控制参数优化..... 王艺璇, 张 鑫, 穆 清, 陈绪江, 孙丽香, 张 星(329)

## 《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 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. 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 塞迪维尔玻璃绝缘子中国区 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

《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

特 约 主 编: 惠 东

编辑部副主任: 严 梦 编辑部: (027) 59835528

责 任 编 辑: 陈 蔓 程子丰 广告发行部: (027) 59258041

组 稿 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](mailto: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 \* 41 \* 2018-01

## CONTENTS

### Special Issue on Half-wavelength AC Transmission

- Research on Half-wavelength AC Transmission Technology ..... GAO Keli, BAN Liangeng(1)
- Refined Transmission Line Model for Half-wavelength Transmission Lines ..... JIAO Chongqing, WANG Bei, LI Yurong, SUN Yiqian, QI Xiaoxiao(3)
- Characteristics and Countermeasures of Overvoltage in UHV AC Half-wavelength Transmission System .....  
..... HAN Bin, WANG Ping, ZHANG Yuanyuan, BAN Liangeng, XIANG Zutao, GU Peng(14)
- Characteristics of Transient Recovery Voltage of Circuit Breakers in UHV AC Half-wavelength Transmission System .....  
..... WANG Ping, HAN Bin, ZHANG Yuanyuan, XIANG Zutao, BAN Liangeng(22)
- Electromagnetic Transient Simulation of Operating Characteristics of UHV AC Half-wavelength Transmission System .....  
..... DONG Peng, ZHU Yiyong, XI Gongwei, QIAO Xiaomin, HUANG Shaofeng(29)
- Research on Testing Technology of Half-wavelength AC Transmission Line Protection .....  
..... ZHAN Rongrong, MENG Jiangwen, YU Yue, DU Dingxiang, ZHAN Zhihua(37)
- Practical Differential Protection for Half-wavelength Transmission Line ..... ZHAO Qingchun, XIE Hua, LU Jinfeng, ZHU Xiaotong(44)
- Analyses of Harmonic Transmission Characteristics of Half-wavelength AC Transmission Line Based on Pole Distribution Feature of Frequency-length Factor ..... ZHOU Shengjun, CHEN Chang, TAN Meng, YANG Honggeng, YU Yongjun(51)
- Simulation Research on On-line Suppression Method of Secondary Arc Based on the Instantaneous Power Injection Related to Half-wavelength Power Transmission Lines ..... CONG Haoxi, LI Qingmin(59)
- Research on Optimal Proportion and Interconnection Performance of Hybrid Half-wavelength AC Transmission Line .....  
..... LIANG Hanqing, LIU Yadong, WAN Lei, SHENG Gehao, JIANG Xiuchen(65)
- Modeling and Analysis of Transient Stability of UHV Half-wavelength and DC Hybrid Transmission System .....  
..... ZHAO Qianyu, WANG Shouxiang, QIN Xiaohui, ZHANG Yantao, JIANG Yilang(75)
- Voltage Characteristic Analysis of UHV Half-wavelength AC Transmission System ..... TIAN Hao, LIU Yutian, YANG Dong, QIN Xiaohui(83)
- Study on the Harmonic Resonance of Grid-connected of Wind Farms and Half-wavelength AC Transmission System Based on Modal Analysis Method .....  
..... TAN Meng, PENG Xianghua, WANG Tongxun, YANG Honggeng, YU Ziqing, CHEN Chang(90)
- Variable Frequency Tuning Technology of Half-wavelength AC Transmission Based on MMC .....  
..... ZHOU Pan, WANG Dayang, DAI Chaobo, JING Ping, ZHAO Chengyong, JI Yucong(99)

### Basic and Common Key Issues in Large-scale Energy Storage

- Patent Analysis of Safety Protection Technology for Lithium Ion Batteries ..... HUI Dong, GAO Fei, YANG Kai, XI Na, CHEN Lei, ZHANG Xi(106)
- Control Strategy of Energy Storage Converter with DC Machine Characteristics ..... ZHANG Hui, TAN Shucheng, XIAO Xi, ZHI Na(119)
- Hybrid Energy Storage Strategy Based on Multivariable Fuzzy Control for DC Microgrid ..... LI Fengting, ZENG Xiangjun, XIA Lingqin(126)
- Stability Analysis of Grid-connected Multi-parallel PCS for Energy Storage System Under PI Control .....  
..... XUE Yushi, XU Shaohua, LI Jianlin, HUI Dong(136)
- Capacity Configuration of Lithium Titanate Battery in Whole Grid Frequency Regulation Based on Rate Characteristic .....  
..... LI Shujuan, LI Xinran, HUANG Jiyuan, MENG Ya, QI Xuezhong, FANG Fang(145)
- Study on the Relationship Between Flatulence and Cycle Performance of Lithium Titanate Battery .....  
..... WANG Yudong, YANG Kai, GAO Fei, DUAN Shuning, ZHANG Mingjie, CHEN Huimin(152)
- Multi-source Coordinated Control Strategy Considering Battery's SOC for Islanded DC Microgrid .....  
..... WANG Chen, MENG Jianhui, WANG Yi, LI Chunlai(160)
- Fast Convergence of the Second-use Battery Group Technology ..... LI Yuanyuan, HUO Wei, ZHU Zhifu, ZHANG Yi, CHEN Chong, LI Shuigen(169)
- Energy Coordination Control of Wind Power-hydrogen Energy Storage and Coal Chemical Multi-functional Coupling System .....  
..... DUAN Qingxi, YUAN Tiejia, MEI Shengwei, CHEN Jie(176)

### Fault Diagnosis and State Assessment of Power Transmission and Distribution Equipment

- Study on Thermal Aging Characteristics of Epoxy Resin of Dry-type Transformer .....  
..... WANG Youyuan, WANG Shiyong, HUANG Yanguang, YI Lu, CAI Yanan(187)
- Effects of Barrier Dimensions on AC Withstand Characteristics of Air Insulated Rod-plane Gaps .....  
..... ZHENG Yuesheng, CHEN Yong, ZHONG Xiaoyan, MIAO Xiren(195)
- Decomposition Characteristics of SF<sub>6</sub> Under Floating Potential Defects Relating to Insulating Materials .....  
..... JI Shengchang, GAO Lu, ZHONG Lipeng, ZHU Lingyu, WANG Wenhao, HE Wenlin(201)
- Analysis on Feasibility for Deeply Suppressing Switching Overvoltage in AC UHV Systems ..... HE Jinliang, WU Jinbo, MENG Pengfei, HU Jun(210)
- No-load Current Real-time Calculation of DC-biased UHV Transformer .....  
..... WANG Zezhong, DENG Tao, TAN Ruijuan, YANG Xiaoxiao, LIU Lianguang(218)

Status Assessment of Aging Condition of Transformer Oil-paper Insulation Based on Time Domain Dielectric Spectroscopy and Wavelet Analysis ..... WU Guangning, XIA Guoqiang, SONG Zhenjie, GAO Tianshan, GAO Bo(226)

Simulation and Experimental Research on S Parameter Characteristics of Partial Discharge UHF Signals in GIS ..... WANG Yanbo, ZHU Mingxiao, SHAO Xianjun, QIAN Ping, DENG Junbo, ZHANG Guanjun(234)

Comprehensive Performances of ZnO Varistors Tailored by Multi-elements Doping ..... MENG Pengfei, HU Jun, WU Jinbo, HE Jinliang(241)

**EMC and Electromagnetic Field**

Key Technology and Progress of Novel Composite Pulse Irreversible Electroporation for Tumor Treatment with Its Clinical Application ..... YAO Chenguo(248)

Electromagnetic Environment Characteristics of UHVDC Transmission Line in High Altitude Area ..... WANG Guoli, LI Min, LIU Lei, LI Bin, ZENG Rong, YU Zhanqing(264)

Simulation and Design of Three-dimensional Pulsed Electric Field Sensor ..... YAN Xuefei, ZHU Changqing(275)

Investigation of Correlations of the Radiated Susceptibility Testing Results Between Reverberation Chamber and Uniform Field ..... HU Dezhou, WEI Guanghui, PAN Xiaodong, JI Kaifu(282)

Data Cleaning Method of Electromagnetic Environment of Power Transmission Line ..... FU Yin, YU Zhanqing, ZENG Rong, LIU Lei, LI Min, ZHUANG Chijie(289)

**Operation and Security of Power Grid**

Efficiency Improvement Control Strategy Based on MFPR Regulator in Range Extender Generation System ..... WANG Xiaoyuan, LÜ Haiying, SUN Qiang(296)

Analysis on Disturbance Characteristics of HVDC Based on Actual Engineering Control System—Disturbance Characteristics of Rectifier Side and Its Optimization ..... ZHENG Chao, HUO Chao, BAI Shibin, LÜ Sizhuo, LI Huiling, ZHANG Xin(304)

Study on the Fast Phase-locked Technology Applied in Three-phase Grid-connected System ..... ZHAO Hongyan, ZHENG Qionglin, LI Yan, LI Danyong(314)

Frequency Analysis of Low Frequency Oscillation in Multi-machine System Based on Energy Function and Incomplete Elliptic Integral ..... MI Xiao, WANG Jie, WANG Rui(321)

Parameter Optimization of Commutation Failure Prevention and Control of UHVDC Hierarchical Connection to AC Grid System ..... WANG Yixuan, ZHANG Xin, MU Qing, CHEN Xujiang, SUN Lixiang, ZHANG Xing(329)

**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)

<b>Abstracted / Indexed in</b>	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](mailto:hve@epri.sgcc.com.cn)

**Director** YAN Meng **Tel** 86-27-59835528, 59835518

**Editor in Charge** CHEN Man **Fax** 86-27-59835529

# ROYE®

让电网更智慧、更坚强

上海市高新技术企业

我们更懂得电网可靠安全运行的重要性!

## 气体密度监测创新引领者

我们专注SF<sub>6</sub>密度继电器产品领域20年，  
不断引领行业创新和进步!



经典专利产品  
更可靠更安全

RSDM系列超级  
SF<sub>6</sub>气体密度继电器

RSDM series super  
SF<sub>6</sub> density monitor



经典专利产品  
更可靠更安全

FDM系列直接  
自动校验式SF<sub>6</sub>  
气体密度继电器

一种不用拆卸就能  
直接校验的SF<sub>6</sub>气体  
密度继电器

FMD automated direct  
calibration SF<sub>6</sub>  
density monitor



发明专利产品  
更可靠更安全

RDM型远传式  
SF<sub>6</sub>气体密度继电器



重大  
技术突破

TDM型高抗振  
SF<sub>6</sub>气体密度继电器

让电网更坚强

### 上海乐研电气有限公司

Shanghai Roye Electrical Co., Ltd.

www.shroye.com www.shroye.cn

万方数据

地址：上海市漕北路1755弄21号 邮编：201802  
电话：+86-21-39170766、39170082、13601816276  
销售直线：+86-21-39170081  
传真：+86-21-39170768  
E-mail：shroye@shroye.com



国内统一连续出版物号:CN42-1239/TM 国内定价:69元/期