

中文核心期刊·中国科技核心期刊·RCCSE中国核心学术期刊(A)·中国学术期刊(光盘版)收录期刊  
 美国《乌利希期刊指南》(UPD)收录期刊·《日本科学技术振兴机构中国文献数据库》(JSTChina)收录期刊  
 美国《剑桥科学文摘》(CSA)收录期刊·英国《科学文摘》(SA, INSPEC数据库)收录期刊



QK1919463

CODEN DYYIA7

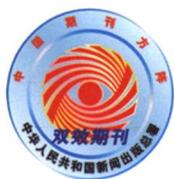
半月刊

9

2019

第56卷 第9期

Vol.56 No.9



# 电测与仪表

Electrical Measurement & Instrumentation

RX-33  
 RX-31  
 RX-30

## 全新RX系列标准表

33系列准确度可达0.005%

0.5mA至200A可保证准确度

Xytronic Three-Phase Reference Standard

### 专为IR46设计的标准表



RX-33

精度标准: 0.005%

RX-31

精度标准: 0.01%

RX-30

精度标准: 0.02%



具体参数请关注公众号  
 获取产品资料

联系电话: 13916005550  
 邮箱: 13916005550@163.com



www.emijournal.net

ISSN 1001-1390



9 771001 139098

哈尔滨电工仪表研究所有限公司  
 中国仪器仪表学会  
 电磁测量信息处理仪器分会

主办

# 电测与仪表®

DIANCE YU YIBIAO

(半月刊 1964 年创刊)

第 56 卷 第 9 期

2019 年 5 月 (上)

(总第 710 期)

主管单位：哈尔滨电工仪表研究所有限公司  
主办单位：哈尔滨电工仪表研究所有限公司  
中国仪器仪表学会电磁测量信息  
处理仪器分会

社 长：刘 文

主 编：刘献成

副 主 编：关志杰

责任编辑：田春雨

英文编辑：金 鑫

编辑出版：哈尔滨金河电测与仪表杂志出版  
有限公司

通信地址：哈尔滨市松北区  
创新路 2000 号

邮政编码：150028

户 名：哈尔滨金河电测与仪表杂志出版  
有限公司

开 户 行：中国建设银行股份有限公司  
哈尔滨松北支行

账 号：23050186685100000101

在线投稿：<http://www.emijournal.net>

邮 箱：dcyb@vip.163.com

稿件查询：0451-86611021

广告邮箱：haoqiuhaohaoqiu@163.com

广告咨询：0451-86693434

广告联系人：王家隆

广告设计：朱月娇

排 版：哈尔滨金河电测与仪表杂志出版  
有限公司

印 刷：哈尔滨华德印务有限公司

国内发行：哈尔滨市邮局

邮发代号：14-43

订 购 处：全国各地邮局

国外发行：中国国际图书贸易集团有限公司

国外代号：SM4150

刊 号：ISSN 1001-1390  
CN23-1202/TH

广告经营许可证：2301070000001

出刊日期：每月 10 日，25 日

国内定价：15.00 元 / 期

# 目 次

## 理论与实验研究

- 01 计及时滞丢包综合特性的电力系统小干扰稳定分析与控制  
..... 周涛, 陈中, 戴中坚, 刘艺, 孙可慧
- 08 奇异值差分谱理论及其在行波固有频率提取中的应用  
..... 刘鑫, 滕欢, 梁梦可, 滕德云
- 15 永磁同步电机的电流鲁棒性优化方法研究  
..... 李俊卿, 石天宇, 郭晋才, 李秋佳
- 21 基于复合控制的电力电子变压器控制策略研究  
..... 周保柱, 赵峰, 高锋阳
- 27 用于分析土壤结构对直流偏磁电流影响的简化网架模型  
..... 沈浩, 王丰华, 夏能弘, 赵文彬
- 32 基于改进 CS 算法优化 Elman-IOC 神经网络的短期负荷预测  
..... 杨芳君, 王耀力, 王力波, 常青
- 38 评估变压器油纸绝缘受潮的电压响应方法研究  
..... 张涛, 钟婷婷, 张斌, 李林多, 肖霞

## 智能电网

- 43 模块化多电平换流器功率模块过压保护策略及优化  
..... 李鑫, 刘大明, 孙晓瑜, 宋佳翰, 皮杰, 樊友平
- 49 基于 RBF 神经网络的电网脆弱性评估及其趋势估计  
..... 王耀升, 张英敏, 王畅, 漆万碧
- 56 基于改进随机森林的电力用户欠费风险分析预警  
..... 李晓蕾, 魏玲, 王忠强, 耿俊成, 张小斐
- 63 基于方向矩阵的 PSO 算法在配网重构中的应用  
..... 荣秀婷, 王承民, 叶斌, 吴延峰, 李周
- 69 自平衡式直流大电流互感器自校准方法误差分析  
..... 韩海安, 程昱舒

## 信息与能源

- 73 基于核极限学习机的风光容量配置研究  
..... 徐永海, 涂菁菁, 尹忠东
- 81 不平衡电网电压下风力发电机网侧变流器控制研究  
..... 张树基, 罗映红, 王云, 赵腾跃
- 86 一种新型高升压比非对称 T 源 DC-AC 逆变器  
..... 马健程, 王贵忠

# 目次

- 91 考虑储能并计及光伏随机性的分布式电源优化配置  
 ..... 王月强, 张文博, 李卫彬, 张佳杰, 姚远, 张菲菲

## 测量与控制

- 97 基于改进鸡群算法的电动汽车有序充电策略研究  
 ..... 吴甲武, 邱晓燕, 潘胤吉, 肖建康
- 104 MMC-UPQC 在 RTDS 仿真中的脉冲输入方案设计  
 ..... 杨用春, 肖湘宁, 袁敬
- 110 广义瞬时功率理论及其在电流检测中的应用研究  
 ..... 朱四维, 田铭兴, 王江彬
- 117 具有中点电位平衡的 Z 源三电平 NPC 逆变器 SPWM 模糊控制算法  
 ..... 马其, 魏金成, 邱晓初, 王鲁云, 周殿祖, 居同
- 124 屏蔽泄漏变化对电压互感器串联加法的影响研究  
 ..... 刘浩, 姜春阳, 余也凤, 袁建平, 刘俭

## 仪器仪表

- 128 一种采用纵向阻抗的变压器保护算法  
 ..... 夏经德, 袁玉宝, 刘欢庆, 高淑萍
- 135 高海拔典型环境下电能表误差与环境影响因素研究  
 ..... 郑江, 陈龙, 袁卫, 董世芳, 伍应衡, 张力平
- 141 相控断路器选相关合闸问题分析及应用研究  
 ..... 李付永, 张帆, 李海涛, 孙龙勇, 姚灿江
- 148 单相智能费控光纤网络电能表的设计与应用  
 ..... 黄成

- 中文核心期刊
- 中国科技核心期刊
- RCCSE 中国核心学术期刊 (A)
- 中国期刊方阵双效期刊
- 中国学术期刊 (光盘版) 收录期刊
- 美国《剑桥科学文摘》(CSA) 收录期刊
- 美国《乌利希期刊指南》(UPD) 收录期刊
- 英国《科学文摘》(SA, INSPEC 数据库) 收录期刊
- 《日本科学技术振兴机构中国文献数据库》(JSTChina) 收录期刊

## 《电测与仪表》 编辑委员会

顾问委员会 (按姓氏笔画排序)

尤政 (院士) 叶声华 (院士)  
 庄松林 (院士) 吴澄 (院士)  
 张广军 (院士) 张钟华 (院士)  
 李天初 (院士) 李同保 (院士)  
 房建成 (院士) 金国藩 (院士)  
 姜会林 (院士) 高洁 (院士)  
 谭久彬 (院士)

编辑委员会

主任委员

张钟华 (院士)

副主任委员

赵伟 贺青 李照阳

委员 (按姓氏笔画排序)

于晓洋	王立欣	王有元
王学伟	王晓琪	王雪
王群京	公茂法	付志红
冯庆东	白凤山	刘文
刘念	刘国海	刘健
刘献成	孙天雨	孙金玮
曲延滨	许志红	余涛
张彤	张革	张国荣
张峰	李仁发	李开成
李红斌	李辉	杜新纲
杨俊华	陆以彪	陈向群
周宗发	孟宗	陆祖良
林德浩	郑建勇	姚陈果
赵永平	徐永海	徐和平
钱政	高云鹏	章欣
黄琦	雷民	谭志强

**Competent Authority:**

Harbin Research Institute of Electrical  
Instrumentation Co., Ltd.

**Sponsor:**

Harbin Research Institute of Electrical  
Instrumentation Co., Ltd.  
Electromagnetic Measuring and  
Information Processing Instruments  
Branch of China Instrument and  
Control Society

**Director:** Liu Wen

**Editor-in-chief:** Liu Xiancheng

**Deputy Editor:** Guan Zhijie

**Responsibility Editor:** Tian Chunyu

**English Editor:** Jin Xin

**Editing & Publishing:**

Harbin Jinhe Electrical Measurement &  
Instrumentation Magazine Publishing  
Co., Ltd.

**Address:**

No.2000, Chuangxin Road, Songbei  
District, Harbin, China

**Zip Code:** 150028

**Email:** dcyb@vip.163.com

**http:** //www.emijournal.net

**Tel:** +86-451-86611021

**Fax:** +86-451-86693434

**Advertisement Email:**

haoqiuhaqiu@163.com

**Advertisement Contact:** Wang Jialong

**Advertising design:** Zhu Yuejiao

**Printing:**

Harbin Huade Printing Co., Ltd.

**Domestic Distributor:** Harbin Post Office

**D.P.Code:** 14-43

**Subscription:** Post Offices in China

**General Foreign Distributor:**

China International Book Trading Group  
Co., Ltd. (P.O.Box399, Beijing)

**F.P.Code:** SM4150

**CSSN:** ISSN 1001-1390/CN23-1202/TH

**Publication Date:** 10th, 25th per month

# CONTENTS

## Theory & Experimental Research

- 01** Small disturbance analysis and control of power system considering comprehensive characteristics of time-delay and data-loss  
..... Zhou Tao, Chen Zhong, Dai Zhongjian, et al
- 08** Difference spectrum theory of singular value and its application to extract the natural frequencies of traveling waves  
..... Liu Xin, Teng Huan, Liang Mengke, et al
- 15** Study on the current robust optimization method of permanent magnet synchronous motor  
..... Li Junqing, Shi Tianyu, Guo Jincai, et al
- 21** Research on control strategy of power electronic transformers based on composite control  
..... Zhou Baozhu, Zhao Feng, Gao Fengyang
- 27** A simplified grid model for analyzing the influence of soil structure on DC bias current  
..... Shen Hao, Wang Fenghua, Xia Nenghong, et al
- 32** Short-term load forecasting based on optimized Elman-IOC neural network with improved CS algorithm  
..... Yang Fangjun, Wang Yaoli, Wang Libo, et al
- 38** Study on voltage response method for evaluating moisture status of transformer oil-paper insulation  
..... Zhang Tao, Zhong Tingting, Zhang Bin, et al

## Smart Grid

- 43** Overvoltage protection strategy and optimization of sub-modules in modular multilevel converter  
..... Li Xin, Liu Daming, Sun Xiaoyu, et al
- 49** Power grid vulnerability assessment based on RBF neural network and its trend estimation  
..... Wang Yaosheng, Zhang Yingmin, Wang Chang, et al
- 56** Arrears risk analysis and early warning of electricity customers based on optimized random forest  
..... Li Xiaolei, Wei Ling, Wang Zhongqiang, et al
- 63** Application of PSO algorithm based on direction matrix in distribution network reconfiguration  
..... Rong Xiuting, Wang Chengmin, Ye Bin, et al
- 69** Error analysis of self-calibration method of self-balanced DC high-current transformer  
..... Han Hai'an, Cheng Yushu

# CONTENTS

## 热烈祝贺

《电测与仪表》再次入编  
《中文核心期刊要目总览》2017版  
中文核心期刊

## 现已出版

2017-2018  
《中国电工仪器仪表行业发展报告》



为行业的投资取向  
制定企业发展战略  
及企业经营策略等  
提供有价值的参考

单 位: 中国仪器仪表行业协会电工仪器仪表分会秘书处  
地 址: 哈尔滨市松北区科技创新新城创新路 2000 号  
联系人: 李昂 王丹春  
E-mail: hbsxhmsc@163.com  
电 话: 0451-87186030

### Information & Energy

- 73** The capacity selection of wind photovoltaic power generations based on KELM method  
..... Xu Yonghai, Tu Jingjing, Yin Zhongdong
- 81** Research on grid-side converter control of wind turbines with unbalanced grid voltage  
..... Zhang Shuji, Luo Yinghong, Wang Yun, et al
- 86** A novel nonsymmetrical T-source DC-AC inverter with high voltage ratio  
..... Ma Jiancheng, Wang Guizhong
- 91** Optimal allocation for distribution generator considering energy storing and randomness of photovoltaic  
..... Wang Yueqiang, Zhang Wenbo, Li Weibin, et al

### Measurement & Control

- 97** Research on orderly charging strategy of electric vehicle based on improved chicken swarm optimization  
..... Wu Jiawu, Qiu Xiaoyan, Pan Yinji, et al
- 104** Pulse input scheme design of MMC-UPQC in RTDS simulation  
..... Yang Yongchun, Xiao Xiangning, Yuan Chang
- 110** Research on generalized instantaneous power theory and its application in current detection  
..... Zhu Siwei, Tian Mingxing, Wang Jiangbin
- 117** SPWM fuzzy control algorithm for Z-source three-level NPC inverter with neutral-point voltage balance capability  
..... Ma Qi, Wei Jincheng, Qiu Xiaochu, et al
- 124** Research on the influence caused by shielding leakage variation on the method of series summation for voltage transformers  
..... Liu Hao, Jiang Chunyang, Yu Yefeng, et al

### Instrument & Meter

- 128** A transformer protection algorithm using longitudinal impedance  
..... Xia Jingde, Yuan Yubao, Liu Huanqing, et al
- 135** Study on error of meter with environmental factors under high altitude typical environment  
..... Zheng Jiang, Chen Long, Yuan Wei, et al
- 141** Analysis on making operation in phase selection of phase-controlled circuit breaker and its application  
..... Li Fuyong, Zhang Fan, Li Haitao, et al
- 148** Design and application of single-phase fee-controlled fiber optical network smart meter  
..... Huang Cheng

# 广告索引

- 封面：上海雷锐精密仪器有限公司  
 封二：广西网冠电气有限公司  
 封三：《2017-2018年中国电工仪器仪表行业发展报告》征订通知  
 封底：国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司

## 文前广告插页：

- 插一：保定新云达电力设备有限责任公司  
 插二：长沙天恒测控技术有限公司  
 插三：南京电力自动化设备三厂有限公司  
 插四：保定高新区易维电子设备厂  
 插五：南京丹迪克科技开发有限公司  
 插六：广州今闰能源科技有限公司  
 插七：浙江厚达智能科技股份有限公司  
 插八：深圳市创仕鼎电子有限公司  
 山东元星电子有限公司

正文前页：《2018年智能电能表元器件选型手册》征订通知

## 文后黑白广告：

- [1] 《电测与仪表》投稿须知 ..... (153)  
 [2] 《2018年智能电能表元器件选型手册》征订通知 ..... (154)  
 [3] 哈尔滨三达德电力技术有限公司 ..... (155)  
 [4] 嘉兴市永信电子有限公司 ..... (156)

# 现已发售

## 2017-2018

# 《中国电工仪器仪表行业发展报告》



为行业的投资取向  
 制定企业发展战略  
 及企业经营策略等  
 提供有价值的参考

单位：中国仪器仪表行业协会电工仪器仪表分会秘书处  
 地址：哈尔滨市松北区科技创新城创新路 2000 号  
 联系人：李昂 邮编：150028  
 电话：0451-87186030  
 万方数据  
 E-mail: hbsxhmsc@163.com



## 电测 计量 检定 校验

### 南昌市新海通实业有限公司

Nanchang New Sea Passes Lnaustry Pment Co.,Ltd

#### BS2001J型 多表位全自动电压监测仪检定装置

触摸屏 / 交流标准源

输出与测量  
 MAX: 450V  
 负载 50VA  
 谐波 31次



0.1级  
0.05级

装置具有全自动检定：电压基本和综合误差，时钟误差（超上下限时间），报警电压测定，灵敏度测试，频率和谐波影响，负载、功耗、失真度测量，闭环控制、软件校准、自我保护，档案统计管理等功能；彩色触摸屏液晶显示，中文菜单方式；设有232、485和USB接口，支持鼠标操作和U盘存储数据。

系列产品【交流标准源】

- ▲ BS2001J型电压监测仪检定装置（普通型） ▲ BS2003型多功能仪表检定装置
- ▲ BS2003D型多功能电能表检定装置 ▲ BS2003J型三相交流采样检定装置

#### BS2103型 三相多功能仪表检定装置

交直流标准源

MAX:  
 AC 800V  
 DC 1000V  
 AC 40A  
 DC 30A



0.1级  
0.05级

★电阻：10Ω~20MΩ

装置的核心技术是ARM+FPGA；高速高精度D/A转换器与直接数字合成技术（DDS）；高精度大功率精密运放；双重输出保护，高保真、高抗冲击能力。产品融交流采样器、交直流指示仪表、多功能电能表、万用表四大检定功能为一体。

系列产品【交直流标准源】

- ▲ BS2101H型交直流毫安毫伏表检定装置 ▲ BS2200型多功能直流标准源

#### BS5100型 交流采样变送器仪表检定装置

交流采样/变送器/交直流仪表/电能表四合一检定功能

MAX:  
 AC 800V  
 DC 1000V  
 AC 20A  
 DC 30A



0.1级  
0.05级

变送器  
 测量 直流电压：±1、±5、±10、±20  
 直流电流：±1、±2.5、±5、±10、±20

系列产品【源表一体】

- ▲ BS5100A型变送器仪表电能表检定装置 ▲ BS5101A型多功能万用表检定装置
- ▲ BS5101J型绝缘电阻表（兆欧表）检定装置 ▲ BS5003型大功率电能表检定装置

#### BS3003B型三相变频电量分析仪

频率测量：3HZ~120HZ（可定制扩展）

误差：±0.002HZ

MAX:  
 AC 1500V  
 AC 100A



0.1级  
0.05级

有功、无功功率测量：0W~±120000W（每相）  
 量程：电压、电流量程任意组合。

特点：该分析仪符合国家JG1559-2016《变频电量分析仪标准规范》；高速同步采样达50kHz，单次测量300ms/次；特有的数字频率，数字移相，精确计算有功、无功功率；对采样波形进行失真度和0~63次谐波计算数字分析；量程自动识别、自动切换；不开盖内部精密基准定期自校准。

标签：变频电量测试仪器、变频功率标准表  
 功率测试仪、多功能校验仪

系列产品

- ▲ BS3103型单、三相交流直流多功能标准表 ▲ BS3200型直流数字多功能标准表
- ▲ BS3003Z型单、三相中频多功能标准表 ▲ BS3001P型高精度多功能频率表

地址：南昌市湖滨南路银湖大厦 网址：[www.jxht.com.cn](http://www.jxht.com.cn)  
 电话：0791-88591685 88591789 88591980 传真：0791-88591980  
 联系人：徐方根 13037212818 邮箱：xfg51@163.com 邮编：330077



襄阳国网合成绝缘子有限责任公司是国内领先的复合绝缘子生产企业，具有领先同行业的、精良的、涵盖电气、机械和化学等领域的全套检测试验装置，确保生产过程中全部检测及研究性试验需求。主要产品有全系列电力线路、电站用复合绝缘子、电气化铁路接触网和机车用复合绝缘子、复合外套氧化锌避雷器、防污闪涂料等。其中，电站支柱复合绝缘子可广泛应用于变电站/换流站电气设备、母线等一次设备结构方面，主要起绝缘及支撑作用。



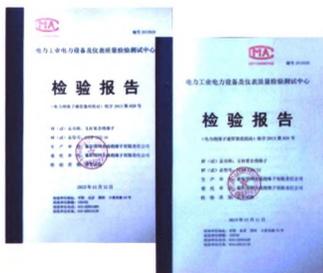
## 电站支柱复合绝缘子

### 产品性能

- 具有良好的憎水性、抗老化性、耐漏电起痕性和耐电蚀损性；
- 具有很高的抗张强度和抗弯强度，其机械强度高，抗冲击性能、防震和防脆断性能好；
- 安装方便，其安装尺寸可根据客户要求加工，可与相应的瓷支柱绝缘子的安装尺寸相同，便于互换使用；
- 体积小，重量轻，不需人工清扫，为安全运行提供保障；
- 针对产品结构安全采取仿真分析与试验相结合的方式，保证满足需求；
- 端部结构采用多重密封方式，确保密封效果；
- 芯棒与金具采用压接式多重紧固方式，确保长期运行安全稳定；
- 芯棒用玻璃纤维为增强材料，环氧树脂为基体，采用一次拉挤成型工艺，满足支柱绝缘子的高抗弯需求。

### 产品应用

目前，公司电站支柱产品已取得全系列的检测报告，已在40.5kV~550kV等多个电压等级的变电站/换流站中应用，如：南网“滇西北-广东”±800kV特高压直流输电工程——南网新松换流站；内蒙乌海城市中心110kV变电站、山东赵庙110kV变电站、渝鄂柔性直流换流阀塔支柱绝缘子项目等，下一步将在天山换流站及张北柔性直流项目中应用。



地址 (ADD) :湖北省武汉市洪山区珞喻路143号  
电话 (TEL) :027-59834888 (营销咨询) 027-59834799 (质量服务)  
网址 (Web) :http://www.sgepri.sgcc.com.cn  
联系人 (韩经理) : 0710-3264668

邮编 (POST) :430074  
传真 (FAX) :027-59834777  
邮箱 (E-Mail) :whnr@sgepri.sgcc.com.cn