

中文核心期刊·中国科技核心期刊(扩展版)·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

ISSN 1001-1390

CN 23-1202/TH

CODEN DYYIA7

半月刊

21

2020

第57卷 第21期

Vol.57 No.21



# 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



Radian Research RX Reference Standards

Guaranteed Accuracy  $\pm 0.005\%$ ,  $0.02\%$ ,  $0.01\%$  (PF=1)



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

ISSN 1001-1390



万方数据

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



www.emijournal.net

# 电测与仪表<sup>®</sup>

DIANCE YU YIBIAO

(半月刊 1964 年创刊)

第 57 卷 第 21 期

2020 年 11 月 (上)

(总第 746 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：王艳丽

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：中国银行股份有限公司哈尔滨新  
区分行

账 号：172746320870

联 行 号：104261004009

在线投稿：<http://www.emijournal.net>

邮 箱：dcyb@vip.163.com

稿件查询：0451-86611021

广告邮箱：haoqihaoqiu@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

### 综述与专题评述

- 01 自动发电控制研究综述  
..... 王念, 张靖, 李博文, 顾业锐, 何宇
- 09 漏磁检测的混合正则化反演方法研究  
..... 李岩松, 王麒翔, 王敏壕, 刘君

### 理论与实验研究

- 18 基于电场耦合法的高压输电线路谐波检测方法的研究与设计  
..... 张国灿, 杨文陵, 连和, 曾玮强, 张金波, 张腾龙
- 24 电力设备监控系统无线网络结构设计策略研究  
..... 熊海军, 张凯
- 32 考虑负荷与 DG 随机性特征的配电网多目标动态重构  
..... 徐俊斐, 高志强, 周雪松, 马幼捷
- 40 基于自适应 PFCM 聚类的电力负荷数据预处理  
..... 郝晓弘, 张春燕, 裴婷婷, 王维洲, 刘福潮
- 47 电力生命线网络多节点关键群组评估  
..... 肖宝强, 赵旭东, 陈顺, 席俊鹏, 肖元昊
- 54 基于加速度传感器的电缆防盗检测算法研究  
..... 蒋意珏, 唐毓, 骆杨, 汪志飞
- 61 智能变电站二次系统可靠性建模及分析  
..... 李书山, 刘宏君, 吴忠福, 李进, 胡秀英, 刘春娣

### 能源互联网

- 70 并网变流器有限控制集模型预测控制  
..... 雷军伟, 赵健, 刘昊, 马建伟, 孙芊, 万宇翔
- 77 基于 LCD-SE-IWOA-KELM 的短期风电功率区间预测  
..... 赵辉, 华海增, 王红君, 岳有军
- 84 考虑城市多场景和用户充电意愿的私家电动汽车充电负荷预测  
..... 曹娜, 牛恩荃, 于群, 王琪

# 目次

- 92 基于 MEEMD-KELM 的短期风电功率预测  
..... 赵睿智, 丁云飞
- 99 风储联合系统中双电池 SOC 波动越限优化研究  
..... 张小莲, 张仰飞, 郝思鹏, 吕干云, 汪麒
- 106 基于加权最小二乘估计的配网技术和非技术网损计量  
..... 凌万水

## 测量与控制

- 111 基于改进小波阈值函数和奇异值分解的电能质量扰动检测  
..... 古庭贇, 高云鹏, 吴聪, 林呈辉, 范强, 徐梅梅
- 119 基于提升小波和改进 PSO-Elman 神经网络的短期负荷预测  
..... 邹浩, 窦震海, 张博, 朱亚玲, 廖庆陵, 孙锴
- 126 基于消息中间件的用电信息采集系统远程停复电可靠性方案  
..... 王新刚, 朱彬若, 赵舫
- 133 基于大数据分析的电力监控网络安全主动防护策略研究  
..... 朱海鹏, 赵磊, 秦昆, 王耀斐

## 仪器仪表

- 140 基于模组电能表的居民侧智慧能源网关设计  
..... 武超飞, 付义豪, 孙冲, 吴一敌, 李鹏, 唐如意
- 147 基于蓝牙技术的电能表无线检定技术研究  
..... 李晨, 姜咪慧, 徐永进, 施文嘉, 丁徐楠, 鲁然

- 中文核心期刊
- 中国科技核心期刊(扩展版)
- 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 刘文

#### 委员 (按姓氏笔画排序)

于晓洋 王立欣 王有元  
王学伟 王雪 王群京  
王磊 公茂法 付志红  
冯庆东 白凤山 刘开培  
刘金权 刘国海 刘建锋  
刘健 刘献成 孙金玮  
曲延滨 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  
肖勇 陆以彪 陈玉  
陈向荣 陈向群 周宗发  
孟宗 陆祖良 郑建勇  
赵永平 徐永海 钱政  
高云鹏 章欣 黄琦  
雷民 谭志强 魏国



**Electrical Measurement & Instrumentation**  
 (Semimonthly, Founded in 1964)  
 Vol. 57 No.21 (Ser. 746) November, 2020

**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:** Wang Yanli

**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:**  
 haoqiu haoqiu@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

## Overview & Special Review

- 01** Research review of automatic generation control  
 ..... Wang Nian, Zhang Jing, Li Bowen, et al
- 09** Research on hybrid regularization inversion method for magnetic flux leakage  
 detection  
 ..... Li Yansong, Wang Qixiang, Wang Minhao, et al

## Theory & Experimental Research

- 18** Research and design of harmonic detection method for high voltage transmi-  
 sion line based on electric field coupling method  
 ..... Zhang Guocan, Yang Wenling, Lian He, et al
- 24** Research on design strategy of wireless network structure in power equipment  
 monitoring systems  
 ..... Xiong Haijun, Zhang Kai
- 32** Multi-objective dynamic reconstruction of distribution network considering  
 load and DG randomness characteristics  
 ..... Xu Junfei, Gao Zhiqiang, Zhou Xuesong, et al
- 40** Power load data preprocessing based on adaptive PFCM clustering  
 ..... Hao Xiaohong, Zhang Chunyan, Pei Tingting, et al
- 47** Evaluation of multi-node key groups in power lifeline network  
 ..... Xiao Baoqiang, Zhao Xudong, Chen Shun, et al
- 54** Research on anti-theft detection algorithm of cable based on acceleration sensor  
 ..... Jiang Yijue, Tang Yu, Luo Yang, et al
- 61** Reliability modeling and analysis of secondary system in smart substation  
 ..... Li Shushan, Liu Hongjun, Wu Zhongfu, et al

## Energy Internet

- 70** Model predictive control of finite control set for grid-connected converters  
 ..... Lei Junwei, Zhao Jian, Liu Hao, et al
- 77** Short-term wind power interval prediction based on LCD-SE-IWOA-KELM  
 ..... Zhao Hui, Hua Haizeng, Wang Hongjun, et al

# CONTENTS



## 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



0.1级  
0.05级

输出与测量  
MAX: 450V  
负载 50VA  
谐波 31次

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】

▲BS6003B型多功能变频电量分析仪	▲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



0.1级  
0.05级

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

★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



0.1级  
0.05级

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

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



0.1级  
0.05级

MAX:  
AC 1500V  
AC 100A

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JJG1559-2016《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/频转换，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

- 84 Prediction of charging load of private electric vehicles considering urban scenarios and charging decisions of users  
..... Cao Na, Niu Enquan, Yu Qun, et al
- 92 Short-term prediction of wind power based on MEEMD-KELM  
..... Zhao Ruizhi, Ding Yunfei
- 99 Study on the fluctuation out-of-limit optimization of dual battery SOC in hybrid wind and energy storage system  
..... Zhang Xiaolian, Zhang Yangfei, Hao Sipeng, et al
- 106 Calculation of technical and nontechnical loss of distribution network based on weighted least square state estimation  
..... Ling Wanshui

## Measurement & Control

- 111 Power quality disturbance detection based on improved wavelet threshold function and singular value decomposition  
..... Gu Tingyun, Gao Yunpeng, Wu Cong, et al
- 119 Short-term load forecasting based on lifting wavelet and improved PSO-Elman neural network  
..... Zou Hao, Dou Zhenhai, Zhang Bo, et al
- 126 Reliability-guaranteed scheme of remote power cutoff and recovery for electricity information acquisition system based on message middleware  
..... Wang Xingang, Zhu Binruo, Zhao Fang
- 133 Active protection strategy of power monitoring network security based on big data analysis  
..... Zhu Haipeng, Zhao Lei, Qin Kun, et al

## Instrument & Meter

- 140 Design of the smart energy gateway on residential side based on modular energy meter  
..... Wu Chaofei, Fu Yihao, Sun Chong, et al
- 147 Research on wireless calibration technology of electricity meter based on Bluetooth technology  
..... Li Chen, Jiang Mihui, Xu Yongjin, et al

### 概述

功耗带载互换性测试装置是针对用电信息采集系统2013版标准开发的测试装置，主要用于集中器本地模块、GPRS模块、采集器模块、单相表模块、三相表模块的静态以及动态功耗的指标测试；集中器I型终端、集中器II型终端、采集器、单相表、三相表的通信模块接口带负载能力的指标测试；载波模块、GPRS模块、微功率模块与标准采集终端进行互换的能力测试；用电信息采集终端（集中器、专变III、采集器、单相表、三相表）与标准通信模块进行互换的能力测试。

该装置是三相四线供电系统，测试过程由计算机软件全程管理和控制，无需人为动手操作，实用性强、准确性好、自动化程度高、性能稳定、易于维护。



### 主要功能

- 1.集中器I型本地模块和远程模块、集中器II型模块、采集器和单相表模块、三相表模块静态功耗指标和动态功耗指标测试
- 2.集中器I型终端、集中器II型终端、采集器、单相表、三相表的通信模块接口带负载能力的指标测试
- 3.载波模块、GPRS模块、微功率通信模块硬件接口的一致性以及通信规约的正确性的测试
- 4.集中器、专变III、采集器、单相表、三相表硬件接口的一致性以及通信规约的正确性测试
- 5.事件主动上报功能测试

### 系统优势

- 1.该系统完全按照国网公司制定的型式规范以及通信规约（2013版）进行标准化测试
- 2.测试结束后将直接生成测试报告文档，便于用户判定该测试设备是否合格
- 3.便于电网公司统一管理以及维护所有厂家的采集终端设备

### 依据规范

- Q/GDW 1374.3-2013 《电力用户用电信息采集系统技术规范：通信单元技术规范》
- Q/GDW 1379.4-2013 《电力用户用电信息采集系统检验技术规范：通信单元检验技术规范》
- Q/GDW 1376.1-2013 《电力用户用电信息采集系统通信协议：主站与采集终端通信协议》
- Q/GDW 1376.2-2013 《集中器本地通信模块接口协议》
- Q/GDW 1375.1-2013 《电力用户用电信息采集系统型式规范：专变终端型式规范》
- Q/GDW 1375.2-2013 《电力用户用电信息采集系统型式规范：集中器型式规范》
- Q/GDW 1375.3-2013 《电力用户用电信息采集系统型式规范：采集器型式规范》
- Q/GDW 135.6-2013 《三相智能电能表型式规范》
- Q/GDW 135.5-2013 《单相智能电能表型式规范》
- JJG 597 《交流电能表检定装置检定规程》
- JJG 596 《电子式电能表检定规程》
- JJG 307 《机电式交流电能表检定规程》
- DL/T 460 《交流电能表检验装置》
- DL/T 585 《电子式标准电能表技术条件》
- DL/T 731 《电能表测量用误差计算器》
- Q/GDW 1355 《单相智能电能表型式规范》（2013版）



# 南京新联电子股份有限公司