

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·英国《科学文摘》(SA, INSPEC数据库)收录期刊
美国《剑桥科学文摘》(CSA)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

ISSN 1001-1390

CN 23-1202/TH

CODEN DYYIA7

月刊

1

2021

第58卷 第1期

Vol.58 No.1



电测与仪表

Electrical Measurement & Instrumentation



行业先锋 领跑未来

太原市优特奥科电子科技有限公司致力于在电力系统二次电量测控领域内以具有竞争力的价格为客户提供高质量的产品及服务,是一家以市场和用户为导向的高科技公司。优特奥科目前专注于电力系统电测仪器设备及其应用软件的设计、开发、生产制造和销售,优特奥科是高新技术企业、“双软”企业、山西省“专精特新”企业,公司积极贯彻“以科技为先导,以质量为中心,为客户提供满意产品及服务”的质量方针,已通过ISO9001:2015质量管理体系认证。优特奥科将本着“务实、求精、协作、创新”的企业精神,以精湛的技术、优良的品质和完善的服务,与广大客户共创辉煌未来。



专利产品



AP2003L手持式二次压降载波测试仪

体积:263×168×60(mm)

- 1998年, 仅重1公斤的0.1级三相电能表现场校验仪在优特奥科问世
- 2001年, 集电能表现场校验、PT三次压降测试、互感器三次负荷测试功能为一体的电能计量装置现场检验仪在优特奥科问世
- 2004年, 测量精度为1级的PT三次压降无线测试仪在优特奥科问世
- 2006年, 电能计量二次回路综合误差测试仪在优特奥科问世
- 2015年, 测量精度为1级的PT三次压降载波测试仪在优特奥科问世

AP2008 企业能量管理系统
AP2009 在线用电稽查系统
AP2008 电能质量分析仪
AP2015 电能质量标准装置
AP5003 三钳图形相位伏安表
AP6303 三相精密交流标准源
AP2001B 单相电能表现场检验仪

AP2003LD 手持式 IEC61850 电能表现场检验仪
AP2006 高压电能计量装置实时在线监测系统
AP2010 高低压电流互感器变比现场测试仪
AP2051 直流充电桩电能表现场检测装置
AP2053 交流充电桩电能表现场检测装置
AP2003 电能计量装置现场检验仪

网址: www.accupower.com.cn

客服: support@accupower.com.cn

销售: sales@accupower.com.cn

地址: 山西综改示范区太原学府园区长治路 258 号星荣大厦十层

电话: (0351) 7035681 7035682 7035683

传真: (0351) 7023298

邮编: 030006

ISSN 1001-1390



万方数据

哈尔滨电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

(月刊 1964 年创刊)

第 58 卷 第 1 期

2021 年 1 月

(总第 750 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

执行主编：王艳丽

本期责编：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>

编 辑 部：0451-86611021

邮 箱：dcyb@vip.163.com

广 告 部：0451-86693434

广告邮箱：dcyyb_wjl@163.com

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：M4150

刊 号：ISSN 1001-1390
CN 23-1202/TH

国际刊名代码 (CODEN)：DYIYA7

广告经营许可证：2301070000001

出刊日期：每月 15 日

国内定价：30 元 / 期

目 次

综述与专题评述

- 01 电力系统谐波溯源方法综述
..... 熊杰锋, 程桂林

理论与实验研究

- 11 基于函数型数据分析的工商业居民用户电力数据清洗算法
..... 田英杰, 洪子靖, 周李
- 20 计及适应性与经济性的多目标输电系统结构优化方法研究
..... 何康宁, 程浩忠, 张衡, 王峥, 张啸虎, 袁杨
- 26 跨电压等级不接地故障时低电压系统的过电压评估
..... 李晓华, 蔡旺廷, 刘飘, 张陈泽宇
- 32 基于分布鲁棒机会约束的机组组合模型
..... 刘明, 曾成碧, 苗虹
- 37 基于高阶累积量与 ESPRIT 算法的功率振荡检测方法
..... 杨宏宇, 吕万, 关雅静, 陈曦, 吴熙
- 46 基于交叉小波变换的高压并联电抗器故障诊断方法
..... 潘信诚, 马宏忠, 陈轩, 郝宝欣, 谭风雷
- 54 抑制漏电流的非隔离电流型光伏并网逆变器
..... 唐圣学, 宋声远, 姚芳
- 62 输电线路空载合闸暂态过程中的 CT 极性在线判别
..... 张韵琦
- 69 一种改进的压板状态识别 SSD 算法
..... 周克, 杨倩文, 王耀艺, 张金钱
- 77 基于 Emanuel 功率理论的多谐波源责任划分
..... 白翔飞, 王建元
- 84 基于多重雷击防护的爆轰气流灭弧机理研究
..... 王国锋
- 91 多模块并联逆变器的等效变换和稳定性分析
..... 徐文斌, 周宇飞, 薛诚
- 96 采用直流分量恢复法的直流系统谐波分析
..... 陈和洋, 郑文迪, 吴文宣
- 104 面向电力智能交互式场景的意图识别算法
..... 李强, 张千福, 黄晓光, 林鸿, 吴佐平

能源互联网

- 109 并网逆变器负序电流优化补偿策略
..... 胡长江, 魏应冬, 陆超, 李东东
- 116 非合作博弈模式下新能源微电网多主体成本策略优化模型
..... 杨淑霞, 朱宪国, 彭生江
- 124 基于 HSS 算法的多区域虚拟电厂综合能源调度
..... 范宏, 陆晓霄

目次

- 131 双馈风电机组在不对称电网故障下的稳定性控制研究
..... 刘曼琴, 周羽生, 许振华, 汤赐, 肖辉, 何洋
- 137 基于深度神经网络与权值共享的工业园区负荷预测
... 王刚, 杨晓静, 张志军, 刘丽新, 于美丽, Abinet Tesfaye Eseye

测量与控制

- 142 改进的 Faster-RCNN 目标检测方法在变电站悬挂异物检测中的应用
..... 刘黎, 韩睿, 韩译锋, 齐冬莲, 闫云凤
- 147 基于图像处理的压接电缆弯曲度自动测量方法
..... 叶中飞, 胡涛, 卢明, 纪鉴真, 申立群
- 152 基于稳态特征和 IGWO-FCM 模糊聚类的非侵入式负荷监测方法
..... 杜刃刃, 杨超, 蒲阳
- 158 拒绝服务攻击下的分布式弹性负荷频率控制
..... 薛田良, 刘希懋, 张赞宁, 曾阳阳
- 165 架空配电线路行波依频传输特性分析
..... 吴娜, 杨征贤, 樊淑娴, 公茂法
- 172 基于新型指数趋近率和转子位置观测器的 PMSM 积分滑模控制
..... 罗雯, 赵峰, 高峰阳, 余佳乐

仪器仪表

- 177 基于熵权-层次分析的智能电能表关键元器件选型方法
..... 盆海波, 王双双, 张烨, 杨挺
- 183 智能电能表故障预警系统的设计与开发
..... 张雅, 樊艳芳, 刘群杰
- 189 基于 Halcon 的智能电能表显示屏信息缺失的检测
..... 王敏, 郑鹏, 常景景
- 196 基于 LabVIEW 的 UHF RFID 射频识别系统的设计
..... 王智鹏, 乔记平, 刘儒平, 王艳

- 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)

龙政(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	王育元
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	余清	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

(Monthly, Founded in 1964)

Vol. 58 No.1 (Ser. 750) January, 2021

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

President: Liu Wen

Editor in Chief: Liu Xiancheng

Executive Editor in Chief: Wang Yanli

Responsible 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

Online Contribution:

<http://www.emijournal.net>

Editorial Office: 0451-86611021

Email: dcyb@vip.163.com

Advertisement Office: 0451-86693434

Advertisement Email: dcyb_wjl@163.com

Advertisement Contact: Wang Jialong

Advertisement 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.

F.P.Code: M4150

CSSN: ISSN 1001-1390

CN 23-1202/TH

CODEN: DYYIA7

The No. of the Advertising Business

License: 2301070000001

Publication Date: 15th per month

Domestic Price: RMB 30 per issue

CONTENTS

Overview & Special Review

- 01** Review of harmonics source traceability methods in power system
..... Xiong Jiefeng, Cheng Guilin

Theory & Experimental Research

- 11** Data cleaning algorithm for industrial and commercial residential users based
on functional data analysis
..... Tian Yingjie, Hong Zijing, Zhou Li
- 20** Structural optimization method of multi-objective transmission system consi-
dering adaptability and economy
..... He Kangning, Cheng Haozhong, Zhang Heng, et al
- 26** Overvoltage evaluation of low voltage system when cross-voltage ungrounded
fault
..... Li Xiaohua, Cai Wangyan, Liu Piao, et al
- 32** Unit commitment model based on distributionally robust chance constraints
..... Liu Ming, Zeng Chengbi, Miao Hong
- 37** Power oscillation detection method based on higher order cumulant and
ESPRIT algorithm
..... Yang Hongyu, Lv Wan, Guan Yajing, et al
- 46** Fault diagnosis method of high voltage shunt reactor based on cross wavelet
transform
..... Pan Xincheng, Ma Hongzhong, Chen Xuan, et al
- 54** A transformerless current source photovoltaic grid-connected inverter for leak-
age current suppression
..... Tang Shengxue, Song Shengyuan, Yao Fang
- 62** On-line discrimination method of CT polarity during the transient process of
no-load closing of transmission line
..... Zhang Yunqi
- 69** An improved SSD algorithm based on pressure plate status recognition
..... Zhou Ke, Yang Qianwen, Wang Yaoyi, et al
- 77** Responsibility distinction for multiple harmonic sources based on Emanuel
power theory
..... Bai Xiangfei, Wang Jianyuan
- 84** Research on explosion airflow arc-extinguish mechanism based on multiple
lightning strike protection
..... Wang Guofeng
- 91** Equivalent transformation and stability analysis of multi-module parallel inverters
..... Xu Wenbin, Zhou Yufei, Xue Cheng
- 96** Harmonic analysis of DC system using DC component recovery method
..... Chen Heyang, Zheng Wendi, Wu Wenxuan
- 104** Intention recognition algorithm for intelligent power interaction platform
..... Li Qiang, Zhang Qianfu, Huang Xiaoguang, et al

Energy Internet

- 109** Optimal compensation strategy for negative sequence current of grid-connected
inverters
..... Hu Changjiang, Wei Yingdong, Lu Chao, 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。产品融合交流采样器、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型交流电压毫安伏表检定装置	▲ 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 直流电压：±1、±5、±10、±20
测量 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
▲ BS5101U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：该分析仪符合国家标准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次谐波成分数字分析；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

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

- 116** Multi-agent cost optimization strategy model of new energy micro-grid based on non-cooperative game theory
.....Yang Shuxia, Zhu Xianguo, Peng Shengjiang
- 124** Integrated energy scheduling of multi-regional virtual power plants based on HSS algorithm
..... Fan Hong, Lu Xiaoxiao
- 131** Research on stability control of doubly-fed induction generator under asymmetric power grid faults
..... Liu Manqin, Zhou Yusheng, Xu Zhenhua, et al
- 137** Load forecasting in industrial park based on deep neural network and weight sharing
.....Wang Gang, Yang Xiaojing, Zhang Zhijun, et al

Measurement & Control

- 142** Application of an improved Faster-RCNN object detection method in the detection of suspended foreign matters in substation
..... Liu Li, Han Rui, Han Yifeng, et al
- 147** Automatic bending degree measurement method of crimping cable based on image processing
..... Ye Zhongfei, Hu Tao, Lu Ming, et al
- 152** Non-intrusive load monitoring method based on steady-state characteristics and IGWO-FCM fuzzy clustering
..... Du Renren, Yang Chao, Pu Yang
- 158** Distributed resilient load frequency control under denial-of-service attacks
..... Xue Tianliang, Liu Ximao, Zhang Yunning, et al
- 165** Analysis of frequency-dependent transmission characteristics of traveling wave in overhead distribution line
.....Wu Na, Yang Zhengxian, Fan Shuxian, et al
- 172** The integral sliding mode control of PMSM based on a novel exponent reaching law and a rotor position observer
..... Luo Wen, Zhao Feng, Gao Fengyang, et al

Instrument & Meter

- 177** Selection method of the smart meter key components based on the entropy-hierarchy analysis
..... Pen Haibo, Wang Shuangshuang, Zhang Ye, et al
- 183** Design and development of fault early-warning system for smart meter
..... Zhang Ya, Fan Yanfang, Liu Qunjie
- 189** Detection of missing information on smart meter display based on Halcon
..... Wang Min, Zheng Peng, Chang Jingjing
- 196** Design of UHF RFID radio frequency identification system based on LabVIEW
..... Wang Zhipeng, Qiao Jiping, Liu Ruping, et al



方维电子

保定方维电子科技有限公司



三相电能表现场校验仪（平板式）

- 特点：平板触控
- 精度：0.02/0.05



电能质量分析仪（平板式）

- 特点：平板触控
- 功能：谐波、频谱、波形、闪变、骤升骤降、录波



平板矢量分析仪

- 8路电压、8路电流矢量同屏显示
- 主变差动矢量分析
- 母线差动矢量分析
- 计量装置接线分析



变压器变比测试仪

- 新一代手持式变比测试仪，体积小、重量轻
- 内置锂离子电池，无需外接电源
- 具备相角测量功能，Z型变、移相变、斯科特变、逆斯科特变均可测



数字化电能表现场校验仪

- 精度高（0.02级、0.05级）
- 可对国内各种型号的数字化电能表进行检测
- 支持IEC61850-9-1、9-2、9-2LE协议
- 具有双ST接口



有源变压器容量--特性测试仪

- 任意规格变压器容量、空负载测试
- 7寸彩屏 橡胶按键 操作简单
- 自带高效能锂电池，一次充电可连续测试500台次



无线二次压降及负荷测试仪

- 非GPS同步模式，无需寻星，无线同步
- 压降、比差、角差、负荷测试
- 谐波测试、波形图显示、矢量图显示



双向台区分支识别仪

- 双手持机，互为主从
- 柔性钳，零序脉冲电流检测
- 负荷功率传输信号



电流互感器现场校验仪

- 精度：0.05级
- 单机即可完成CT的校验
- 完全替代传统方式的六大部件
- 测量PT的变比和极性

地址：保定市高新区北二环路5699号大学科技园2号楼4层
电话：0312-5909802 传真：0312-5883929

网址：www.bdyw.com
邮箱：baodingyw@163.com