

DOI:10.14044/j.1674-1757.pcrpc.2024.05.014

能源行业标准《电能质量监测装置在线比对技术规范》 解读

郭敏^{1,4}, 高寒², 华回春², 周聪³

(1. 广西电网有限责任公司电力科学研究院, 南宁 530023; 2. 新能源电力系统国家重点实验室
(华北电力大学), 河北 保定 071003; 3. 中山侨源电力技术有限公司, 广东 中山 528400;
4. 广西电力装备智能控制与运维重点实验室, 南宁 535023)

摘要:针对固定安装在变电站、已投运多年的电能质量监测装置准确度难以开展周期性检测等难题,对能源行业标准《电能质量监测装置在线比对技术规范》进行解读,该标准明确了具体的适用范围,设计电能质量比对测量装置的通用架构,给出了电能质量比对测量装置各组成模块的基本要求,提出了适用电能质量在线监测装置的现场周期性检测方法,制定了在线检测流程,并给出具体的检测数据处理要求及方法。

关键词:电能质量; 监测装置; 在线比对; 检测方法; 检测流程

Interpretation of Energy Industry Standard *Technical Specification for Online Comparison of Power Quality Monitoring Device*

GUO Min^{1,4}, GAO Han², HUA Huichun², ZHOU Cong³

(1. Electric Power Research Institute of Guangxi Power Grid Co., Ltd., Nanning 530023, China;
2. State Key Laboratory of Alternate Electrical Power System with Renewable Energy Sources, North
China Electric Power University, Hebei Baoding 071003, China; 3. Zhongshan Qiaoyuan Power
Technology Co., Ltd., Guangzhou Zhongshan 528400, China; 4. Guangxi Key Laboratory of
Intelligent Control and Maintenance of Power Equipment, Nanning 535023, China)

Abstract: In view of such issue as difficult development of periodic detection on the accuracy of power quality monitoring device installed in the substation and operated for many years in substation, the energy industry standard *Technical Specification for Online Comparison of Power Quality Monitoring Device* is interpreted in this paper. In this standard, the specific scope of application is defined, the common architecture of the power quality comparison measurement device is designed, the basic requirements for each component module of the power quality comparison measurement device is given, the on-site periodic detection method applicable to the online power quality monitoring device is proposed, the online detection process is formulated and the specific detection data processing requirements and methods are given.

Keywords: power quality; monitoring device; online comparison; test method; detection process

0 引言

安装电能质量在线监测装置用于掌握电网电能质量的重要手段之一。截止目前,各省级电网中已有成千个电能质量监测点,且每年还在继续增加^[1-4]。这些电能质量在线监测装置为全面分析评估电网电能质量状况、预知电网现状、进行电网故障分析提供了丰富的基础数据,作用显著。为加

强对电能质量监测装置的监督管理,各省电网公司制订了一系列的技术标准,每年组织一次针对电能质量在线监测装置的入网检测,检测合格且排名前列者才具有供货资质。这些技术措施从一定程度上保障了电能质量在线监测装置的运行可靠性和测量准确性^[1-4]。

但电能质量在线监测装置一旦投入运行后,长期处在恶劣的电磁环境中,其元器件性能失效难以

避免,进而有可能影响到电能质量在线监测装置的整机运行状态^[9-12],例如监测精度与通讯环境。依照电网技术监督相关规定,任何已投运的在线监测装置的检测周期不得超过3年。但受限于电能质量监测装置的现场检验技术、人力投入成本等因素,目前已投运的电能质量在线监测装置从未开展过定期检测,运行时间超过3年的装置占大多数,部分运行时间最久的监测装置已经出现明显的异常现象^[13]。因此,制定电能质量在线监测装置现场检验的相关标准和规范,并尽快落实实施具体检测,已非常必要和紧迫。

目前,国家电网及南方电网现有变电站电能质量在线监测装置约1.4万台,预计每年以20%的增长率递增,5年后将有2.9万台电能质量在线监测装置面临重新检测的问题,拆除重新检测的方法已不能满足生产、运行要求,国内已经有多家装置制造商推出了电能质量在线监测装置现场检验装置,技术与产品已经相当成熟与稳定。亟需出台在带电、不拆除情况下对该类装置进行阶段性的检测和检验标准,规范电能质量在线监测装置现场检验方法及步骤,以确保电能质量在线监测装置对电能质量数据监测的准确性和可靠性,为电力行业电能质量改善和治理发挥正面的作用。

相关的国家标准有《电能质量监测设备通用要求》(GB/T 19862—2016)^[14],该标准是针对电能质量在线监测装置而制定的,行业标准有《电能质量测试分析仪检定规程》(NB/T 1028—2006)^[15],该标准是针对新生产和使用中的电能质量测试分析仪和多功能测量仪器的电能质量测量功能部分的检定而制定的,基于目前的情况,本标准《电能质量监测装置在线比对技术规范》(NB/T 11146—2023)是基

于电能质量在线监测装置设计免拆、带电的现场检验方法和规范,因此内容与目前标准相差较大^[16-21]。该标准是国家能源局下达的2020年能源领域行业标准制修订计划,由全国电压电流等级和频率标准化技术委员会(SAC/TC1)归口负责。

1 适用范围及术语

标准规定了电能质量监测装置在线比对的装置技术要求、在线比对检测要求及流程、检测数据处理与评价等,适用于固定安装在现场的电能质量监测装置准确度的在线检测,属于电能质量在线监测装置的周期性检测,未来可作为安装在变电站、且运行一定年限的电能质量在线监测装置的退役标准。

标准主要涉及电能质量监测装置、电能质量比对测量装置、在线比对、网络时间协议、简单网络时间协议、精密时钟同步协议、IRIG-B码和实时时钟8个专业术语^[22-27]。其中,电能质量比对测量装置是指一种用于对被检监测装置测量准确度进行现场比对检测的便携式电能质量测量装置,其测量准确度高于监测装置,提供高精度对时服务,具备对被检监测装置测量数据统计分析功能;在线比对是指在不影响监测装置的正常工作的情况下,比对装置在线获取监测装置的各电能质量指标监测值,并与自身测量结果进行比对,分析监测装置准确度的过程。这两个术语属于首次出现的,对本标准的制定至关重要。

2 电能质量比对测量装置通用架构

电能质量比对测量装置应满足GB/T 19862—2016要求,且包括测量功能模块、网络对时功能模块、数据获取功能模块和数据分析功能模块,如图1所示。

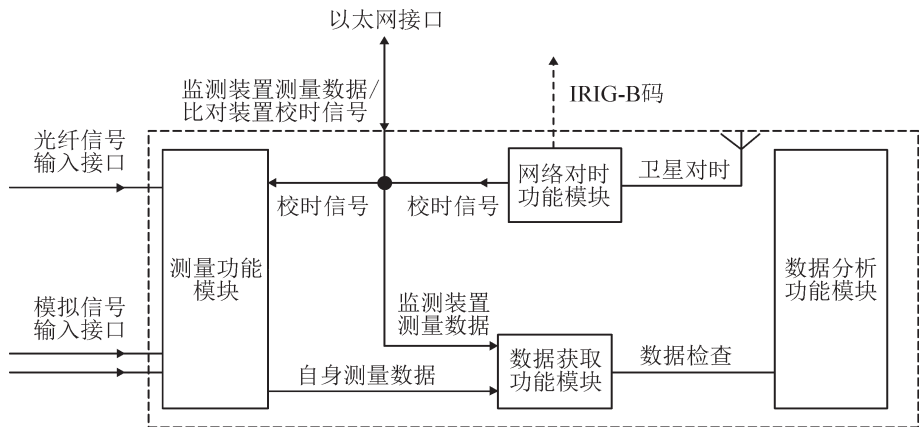


图1 比对装置功能框图
Fig. 1 Functional block diagram of comparison device

2.1 测量功能模块

测量功能模块的电流互感器应达到 JB/T 5472—2022 的 0.2 级准确度等级^[28],其额定一次电流标准值宜为 1 A 或 5 A,具有良好的幅频特性,测量的主要电能质量参数及其最大允许误差应满足 DL/T 1368—2014 要求^[29],至少具备 1 个以太网通讯接口,连接至网络对时功能模块,应能自动获得校时信号,并完成时间的同步。

2.2 网络对时功能模块

网络对时功能模块应能接收北斗/GPS 等卫星授时信号,获取高精确时间基准,至少具备 1 个以太网接口和 1 个 IRIG-B 码接口,具有 SNTP/PTP/IRIG-B 码对时方式,能及时响应监测装置的网络对时请求,完成比对装置与监测装置两者时间的同步,应能自动获取监测装置、比对装置各自的时间,计算两者的时间误差,其误差按 DL/T 1100.4—2018 在局域网内工作在客户端模式下应优于 10 ms^[27]。

2.3 数据获取功能模块

数据获取功能模块获取时间同步后监测装置、比对装置的电能质量测量实时数据(150 周波累积,除短时间闪变为 10 min 累积外),经检查、处理满足要求后打包送至数据分析功能模块,至少具备 1 个以太网通讯接口,连接至网络对时功能模块,以满足监测装置测量数据的传输。通讯协议及实现方

式要求如下:1)数据获取功能模块的数据建模和通讯规约宜采用 DL/T 860.73—2013、DL/T 860.74—2014 标准^[24-25];2)数据获取功能模块支持其他私有协议,满足不同厂家、型号的监测装置实时数据的传输即可。应对获取监测装置、比对装置的实时数据时间同步性进行检查。

2.4 数据分析功能模块

数据分析功能模块接收来自数据获取功能模块的两组同步测量数据包,完成监测装置准确度的现场在线比对分析,能自动生成本次监测装置现场在线比对报告,并提供相应接口方便导出。

3 在线比对检测方案

电能质量监测装置现场在线比对检测方案应满足如下要求^[6-7,8-21]:

1)在不影响监测装置的正常监测情况下,对监测装置进行现场在线比对检测,模拟式、数字式的检测方案见图 2;

2)比对装置满足模拟量信号和数字量信号的输入。其中,模拟量信号为三相电压、电流信号,电压信号取自与模拟式监测装置同源的电压互感器二次侧信号,电流信号通过开口式电流互感器取自与模拟式监测装置同源的电流互感器二次侧信号;数字量信号为光纤信号,取自与数字式监测装置同源的互感器二次侧信号。

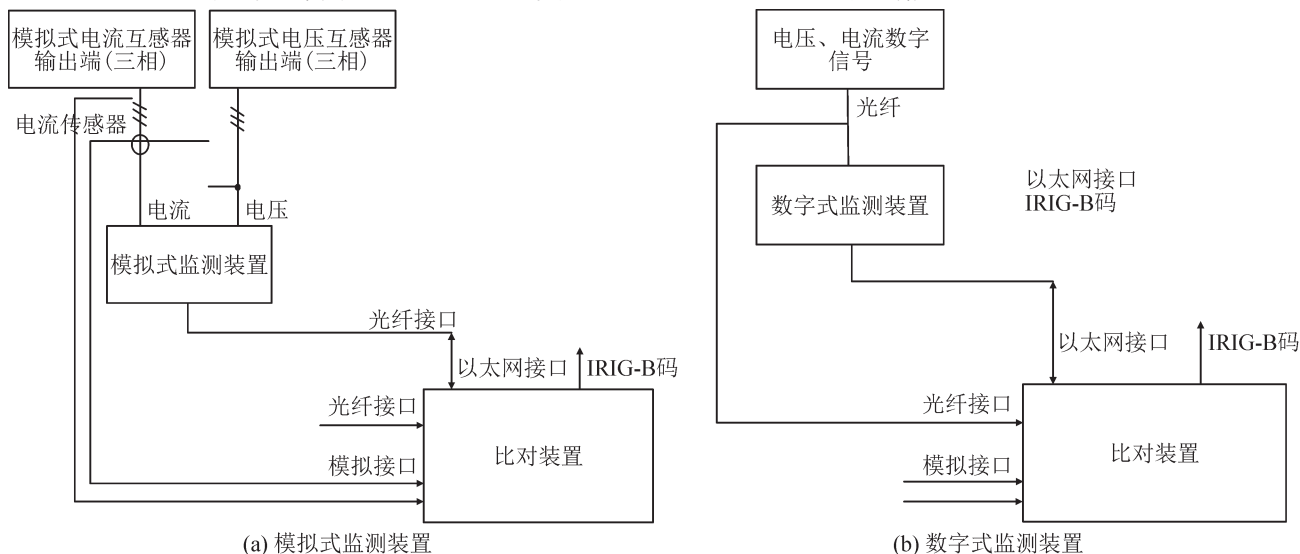


图2 监测装置在线比对检测方案
Fig. 2 Online comparison and detection scheme of monitoring device

4 在线检测方法及流程

4.1 在线检测方法

考虑电能质量监测装置现场在线检测时难以捕捉电压暂降、暂升和短时间终端等暂态信号,在

标准制定过程中采用实时信号比对幅值差和相位差来验证电能质量监测装置的暂态监测性能,因目前技术存在一定难度,故本标准只考虑电压、频率、三相不平衡度、谐波/间谐波和闪变等稳态指标的检测,暂不考虑暂态指标的检测。

电能质量监测装置稳态指标比对检测误差计算方法有相对误差和绝对误差两种,公式分别为

$$\gamma[i] = \frac{X[i] - X_s[i]}{X_s[i]} \times 100\% \quad (1)$$

$$\Delta X[i] = X[i] - X_s[i] \quad (2)$$

式中: $\gamma[i]$ 、 $\Delta X[i]$ 分别为监测装置第 i 个稳态指标测量的相对误差和绝对误差; $X[i]$ 为监测装置第 i 个稳态指标测量值; $X_s[i]$ 为比对装置第 i 个稳态指标测量值; i 为测量序号, 0~199, 上述各变量的单位与稳态指标保持一致。

电压测量误差的检测主要包括检测数据的选取和检测方法。检测数据的选取满足如下要求: 1) 单通道监测装置电压测量在线比对的数据长度为 10 min 的实时数据; 2) 多通道监测装置每个通道均应检测, 检测数据的选取可参考单通道监测装置。检测方法应满足如下要求: 1) 按图 2 连接比对装置与监测装置, 采用逐点比较法进行检测; 2) 监测装置与比对装置对时同步后, 获得监测装置的电压测量值、比对装置的

电压测量值, 则按式(1)计算监测装置的相对误差。

频率、三相不平衡、闪变测量误差的检测, 选取监测装置在正常监测范围内的频率、三相不平衡和闪变的数据, 频率、三相不平衡在线比对的数据长度为 10 min 的实时数据, 而短时间闪变在线比对的数据长度为 2 h 的数据。闪变检测则按式(1)计算监测装置的相对误差, 频率、三相不平衡检测则按式(2)计算监测装置的绝对误差。

谐波/间谐波测量误差的检测比较复杂, 目前安装在变电站的监测终端的精度均 A 级, 并遵循《电磁兼容 试验和测量技术 电能质量测量方法》(GB/T 17626.30—2012)、《电能质量监测设备通用要求》(GB/T 19862—2016)设计制造的。监测终端的累积时间间隔的同步方法, 见图 3。具体原理为在 50 Hz 系统内监测终端按 10 周波进行连续采样, 150 周波间隔是由 15 个 10 周波集合形成, 为保证监测终端对电力系统的无缝监测, 每隔 10 min RTC 计时点 10 周波测量会重新同步一次, 这样会使得监测终端 150 周波数据会重叠。

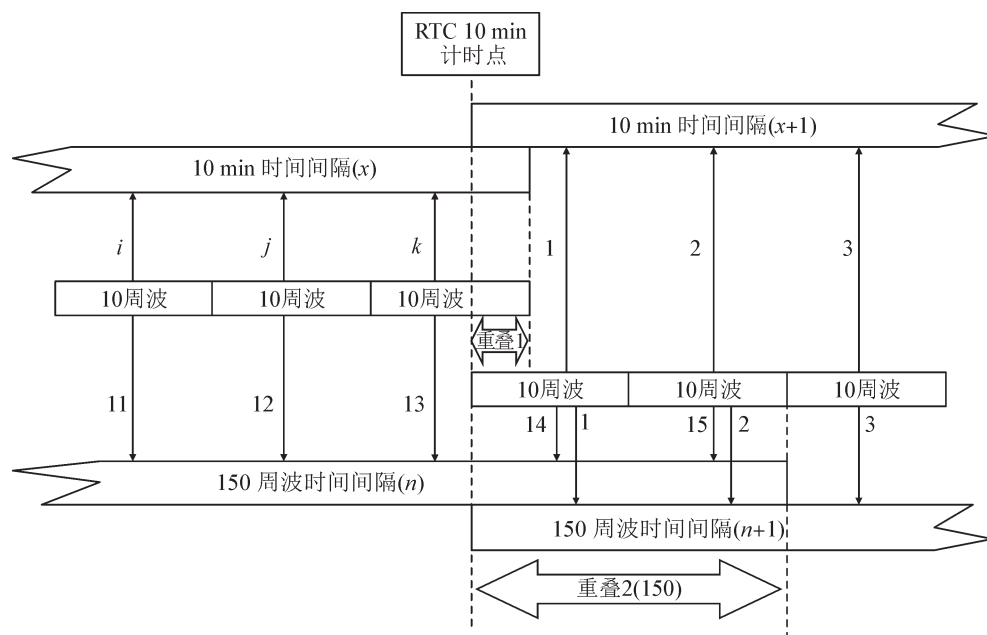


图3 累积时间间隔的同步方法
Fig. 3 Synchronization method of cumulative time interval

谐波/间谐波测量误差的检测, 检测数据的选取应满足如下要求: 1) 选取监测装置的正常监测电压作为基波电压, 正常监测频率为基波频率; 2) 谐波/间谐波测量在线比对的数据长度为 10 min 的实时数据; 3) 在 2~50 次之间, 谐波电压、谐波电流选择谐波序列前 5 个最大幅值; 4) 在 1.5~11.5 次之间, 间谐波电压、间谐波电流选择间谐波序列前 2 个最大幅值; 5) 多通道监测装置每个通道均应检测, 检测数据的选取可参考单通道监测装置。

检测方法满足如下要求: 按图 2 连接比对装置与监测装置, 采用逐点比较法进行检测。监测装置与比对装置同步后, 获得监测装置的第 h 次谐波电压含有率测量值和第 h 次谐波电流含有率测量值、比对装置的第 h 次谐波电压含有率测量值和第 h 次谐波电流含有率测量值, 则谐波电压含有率 $\geq 1\%$ 的按式(1)计算监测装置的谐波电压测量误差, 谐波电压含有率 $< 1\%$ 的按式(2)计算监测装置的谐波电压测量误差, 谐波电流含有率 $\geq 3\%$ 的按式(1)

计算监测装置的谐波电流测量误差,谐波电流含有率 $<3\%$ 的按式(2)计算监测装置的谐波电流测量误差。

在谐波/间谐波小信号模式可采用分形维数法进行检测,通过判断测量模块与监测装置的分形特征相对误差是否超出其最大允许误差,以确定监测装置的测量准确度是否满足要求。与传统逐点比较法比较,此方法在检测弱谐波/间谐波信号($U_h<1\%U_N$ 、 $I_h<3\%I_N$)下监测装置合格性方面具有优势,且不受数据丢失、对时误差的影响。

4.2 在线检测流程

图4为电能质量在线比对的检测流程,具体过程如下:

- 1)开展监测装置外观及工作正常性的检查;
- 2)暂时断开监测装置与电能质量在线监测系统的网络连接或使用备用以太网接口,按图2正确连接监测装置和比对装置;
- 3)获得监测装置PI/CT、通信、对时等参数,设置比对装置在线比对检测所需参数;
- 4)开展监测装置实时数据通信模型一致性的检查,通信规约若满足要求,进入步骤(5),否则开始计数,连续不满足次数达到3次,跳转至步骤(8);
- 5)选择测试文件,开展监测装置数据存储的检测,存储若多次检测正常,进入步骤(6),反之则跳转至步骤(8);
- 6)选择对时方式,开展时间校准,时间校准若满足要求,进入步骤(7),否则开始计数,连续不满足次数达到3次,跳转至步骤(8);
- 7)在完成上述流程后的整点时刻(即RTC 10 min计时点),启动在线比对测试,开展监测装置的稳态电能质量指标准确度在线比对检测,检测所需的时间与检测项目、检测方法有关,检测人员可根据实际情况进行多次重复检测,运用统计方法来评价监测装置测量的准确度;
- 8)结束现场在线比对检测,恢复原状。

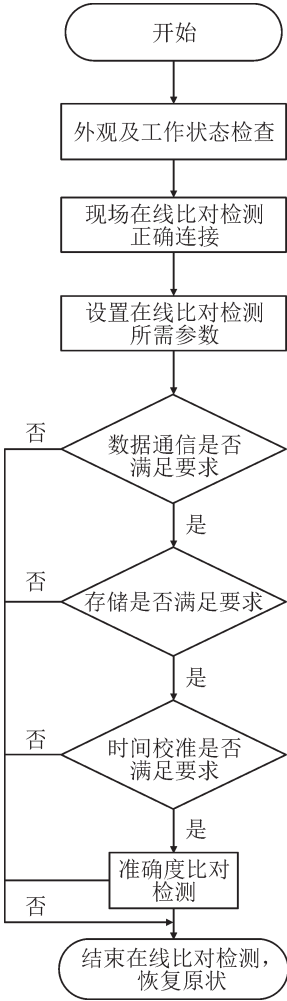


图4 现场在线比对检测示意图
Fig. 4 Schematic diagram of on-site online comparison and detection

针对图4的准确度比对检测问题,本标准分析A级监测终端累积时间间隔的同步方法,非常巧妙设计电能质量监测终端现场比对获取测量数据的方法,见图5。

从图5可知,在现场比对测试时高精度电能质量比对装置完成接线,做好准备,需进行多次校时,当时间到达整点时刻(即RTC 10 min计时点),启动在线比对测试,到达下个整点时刻(即RTC 10 min计时点)即可结束测量数据的获取。

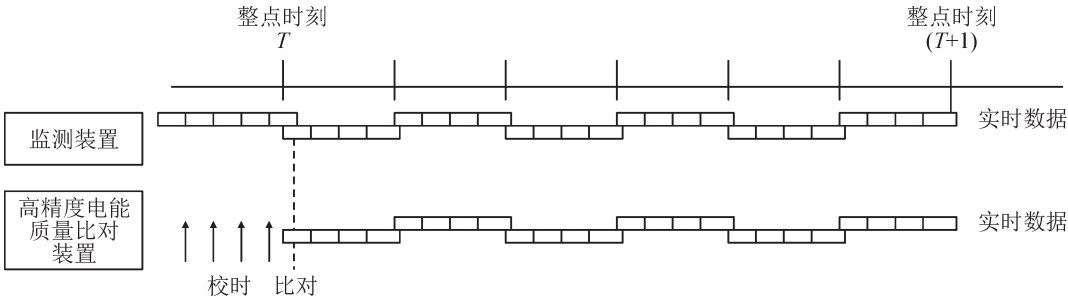


图5 现场比对获取测量数据方法
Fig. 5 Method of obtaining measurement data through field comparison

通过通信规约获取的实时数据应按照 GB/T 8170—2008 要求,给出化整后的测量值或误差值,数据按四舍六入五成双法则取舍^[30]。判断被检监测装置是否超过允许误差限,应以化整后的数据为准。比对装置按 GB/T 19862—2016 计算各稳态指标的误差序列,根据误差序列的 95% 概率大值判断监测装置测量指标的准确性。对于比对结果超出其最大允许误差的监测装置应维修或更换,并按照 DL/T 1862—2018 检测合格后投入使用^[31]。

5 结语

能源行业标准《电能质量监测装置在线比对技术规范》是针对固定安装在变电站现场、且运行多年的电能质量监测装置准确度进行周期性检测而制定,标准明确了其适用范围,设计了电能质量比对测量装置的通用架构,给出了装置各模块的基本要求,提出了适用电能质量监测装置的在线检测方法,制定了现场在线检测的流程,并给出具体的检测数据处理基本要求及方法。

参考文献

- [1] 李新元,马骏,高鹏,等. 基于相序自适应的三相电能质量调节装置[J]. 电器与能效管理技术,2021(3):61-67.
LI Xinyuan, MA Jun, GAO Peng, et al. Three-phase power quality adjustment device for distribution network based on phase sequence adaptive technology[J]. Electrical & Energy Management Technology, 2021(3):61-67.
- [2] 袁性忠,王辉,贾宏刚,等. 基于储能型 APF 的微电网电能质量综合治理[J]. 高压电器,2022,58(8):238-244.
YUAN Xingzhong, WANG Hui, JIA Honggang, et al. Comprehensive power quality control for microgrid based on APF with energy storage[J]. High Voltage Apparatus, 2022, 58(8):238-244.
- [3] 周识远. 弱电网下光伏并网逆变器电能质量控制策略研究[J]. 东北电力技术,2021,42(5):6-9.
ZHOU Shiyuan. Research on power quality control strategy of photovoltaic grid-connected inverters under weak grid access[J]. Northeast Electric Power Technology, 2021, 42(5):6-9.
- [4] 王伟,李开成,许立武,等. 基于一维卷积神经网络多任务学习的电能质量扰动识别方法[J]. 电测与仪表,2022,59(3):18-25.
WANG Wei, LI Kaicheng, XU Liwu, et al. Power quality disturbance recognition method based on multi-task learning and one-dimensional convolutional neural network[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2022, 59(3):18-25.
- [5] 陈卫东,郭敏,金庆忍. 基于非参数估计的电能质量监测装置可靠性分析方法[J]. 电力电容器与无功补偿,2018,39(5):112-115.
CHEN Weidong, GUO Min, JIN Qingren. Reliability analysis method for power quality monitoring device based on non-parametric estimation[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2018, 39(5):112-115.
- [6] 郭敏,陈卫东,金庆忍. 电能质量监测装置在线检测方法研究及系统设计[J]. 供用电,2018,35(10):79-84.
GUO Min, CHEN Weidong, JIN Qingren. Research and design of the on-site testing method for power quality monitoring equipment[J]. Distribution & Utilization, 2018, 35(10):79-84.
- [7] 姚知洋,陶丽,金庆忍,等. 电能质量监测装置现场比对检测方法[J]. 电器与能效管理技术,2019(12):49-52.
YAO Zhiyang, TAO Li, JIN Qingren, et al. Spot comparison detection method of power quality monitoring device[J]. Electrical & Energy Management Technology, 2019(12):49-52.
- [8] GUO Min, CHEN Weidong, JIN Qingren, et al. Research on online detection method of power quality monitoring device and system design[C]//2019 14th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA). [S.l.]:IEEE, 2019:2244-2248.
- [9] 陈弘川,蔡旭,孙国歧,等. 基于关联分析的变压器在线监测方法研究[J]. 变压器,2022,59(4):41-47.
CHEN Hongchuan, CAI Xu, SUN Guoqi, et al. Research on transformer on-line monitoring method based on correlation analysis[J]. Transformer, 2022, 59(4):41-47.
- [10] 魏妍萍,王军,李南帆. 可再生能源接入对电网电能质量的影响分析[J]. 电网与清洁能源,2022,38(1):108-114.
WEI Yanping, WANG Jun, LI Nanfan. An analysis of the influence of grid-connected renewable energy on power quality of power grids[J]. Power System and Clean Energy, 2022, 38(1):108-114.
- [11] 崔江静,吴宏晓,南保峰,等. 基于 FVMD & WVD 方法的非接触式电缆故障在线监测技术研究与应用[J]. 高压电器,2023,60(1):205-214.
CUI Jiangjing, WU Hongxiao, NAN Baofeng, et al. Research and application of non-contact on-line monitoring technology of cable based on FVMD & WVD method[J]. High Voltage Apparatus, 2023, 60(1):205-214.
- [12] 陈艳,范娟,王欢. 发电机出口侧电压互感器绝缘性能在线监测方法[J]. 变压器,2022,59(8):64-68.
CHEN Yan, FAN Juan, WANG Huan. On-line monitoring method of PT insulation performance at generator outlet side[J]. Transformer, 2022, 59(8):64-68.
- [13] 陈卫东,郭敏,金庆忍,等. 一种电能质量监测装置运行状态的评估方法:ZL201710948536X [P].2017-09-02.
- [14] 电能质量监测设备通用要求:GB/T 19862—2016[S]. 2016.

- General requirements for monitoring equipment of power quality: GB/T 19862—2016 [S].2016.
- [15] 电能质量测试分析仪检定规程: DL/T 1028—2006 [S]. 2006.
- Verification code for power quality analyzer DL/T 1028—2006 [S].2006.
- [16] 郭敏,陈卫东,金庆忍. 一种电能质量监测装置在线对比检测方法: ZL2018105900391 [P].2018-07-03.
- [17] 郭敏,陈卫东,金庆忍. 一种用于标准电能质量监测装置的校准方法: ZL201810588211X [P].2018-07-06.
- [18] 陈卫东,郭敏,金庆忍,等. 一种用于电能质量监测装置在线检定的校时系统及方法: ZL2018105894121 [P]. 2018-07-15.
- [19] 郭敏,陈卫东,金庆忍. 一种电能质量监测装置的在线比对检测装置: ZL2018215075786 [P].2018-07-30.
- [20] 姚知洋,郭敏,陈卫东. 一种电能质量在线比对标准测量装置: ZL201820887205X [P].2018-08-12.
- [21] 郭敏,肖静,黄金剑. 一种电能质量监测终端的现场在线比对检测装置: ZL2020224615244 [P]. 2020-08-30.
- [22] 电磁兼容 试验和测量技术 电能质量测量方法: GB/T 17626.30—2012 [S].2012.
- Electromagnetic compatibility - Testing and measurement techniques—Power quality measurement methods: GB/T 17626.30—2012 [S].2012.
- [23] 电能质量 术语: GB/T 32507—2016 [S].2016.
- Power quality—Terms: GB/T 32507—2016 [S].2016.
- [24] 电力自动化通信网络和系统 第7-3部分: 基本通信结构 公用数据类: DL/T 860.7-3—2013 [S].2013.
- Communication networks and systems for power utility automation—Part 7-3: Basic communication structure—Common data classes: DL/T 860.7-3—2013 [S].2013.
- [25] 电力自动化通信网络和系统 第7-4部分: 基本通信结构 兼容逻辑节点类和数据类: DL/T 860.7—2014 [S].2014.
- Communication networks and systems for power utility automation —Part 7-4: Basic communication structure—Compatible logical node classes and data object classes: DL/T 860.7—2014 [S].2014.
- [26] 电力系统的时间同步系统 第1部分: 技术规范: DL/T 1100.1—2018 [S].2018.
- Time synchronism systems of power system—Part 1: Technical specifications: DL/T 1100.1—2018 [S].2018.
- [27] 电力系统的时间同步系统 第4部分: 测试仪技术规范: DL/T 1100.4—2018 [S].2018.
- Time synchronism systems of power system—Part 4: Measuring and testing instrument technical specifications: DL/T 1100.4—2018 [S].2018.
- [28] 仪用电流互感器: JB/T 5472—2022 [S].2022.
- Instrument current transformers: JB/T 5472—2022 [S].2022.
- [29] 电能质量标准源校准规范: DL/T 1368—2014 [S].2014.
- Calibration specifications for power quality calibrator: DL/T 1368—2014 [S].2014.
- [30] 数值修约规则与极限数值的表示和判定: GB/T 8170—2008 [S].2008.
- Rules of rounding off for numerical values & expression and judgement of limiting values: GB/T 8170—2008 [S]. 2008.
- [31] 电能质量监测终端检测技术规范: DL/T 1862—2018[S]. 2018.
- Inspection technical specification for power quality monitoring terminal: DL/T 1862—2018[S].2018.
- 作者简介:**
- 郭敏(1984—),男,高级工程师,通信作者,主要研究方向为电力电子、电能质量和无功电压分析与控制技术。E-mail: guo_m_sy@gx.csg.cn。
- 高寒(1998—),男,工程师,主要研究方向为电能质量。E-mail: gaohanatw@163.com。
- 华回春(1980—),男,副教授,主要研究方向为电能质量、电力市场。E-mail: huahuichun@126.com。
- 周聪(1987—),男,工程师,主要研究方向为电能质量监测、检测、分析、评估及治理。E-mail: 315668574@qq.com。

(上接第47页)

雷梅梅(1988—),女,工程师,主要从事电力电容器产品的设计开发工作。

杨硕亮(1985—),男,工程师,主要从事电容式电压互感器产品的设计开发工作。

赵莹(1976—),女,工程师,主要从事电容式电压互感器

产品的设计开发工作。

杨晓静(1986—),女,工程师,主要从事电容式电压互感器产品的设计开发工作。

姬凯(1987—),男,工程师,主要从事电力电容器、电容式电压互感器产品的工艺工作。