

一二次融合成套开关测试平台设计与实现

孙健¹, 刘刚², 王秀茹², 方鑫¹, 吴楠¹, 蒋宏图³, 王蔚³

(1. 国网江苏省电力有限公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103;

2. 国网江苏省电力有限公司宿迁供电分公司, 江苏 宿迁 223800;

3. 上海金智晟东电力科技有限公司, 上海 200233)

摘要: 长期以来配电开关类设备在设计、制造和测试过程中相对独立, 直接导致了配电一二次设备功能不匹配、责任划分不明确等问题。随着一二次融合技术的不断发展, 设备厂家在一二次设备设计、制造环节开展了深入的交流和融合, 但在测试环节依旧采用传统一次、二次独立测试方式, 其原因主要在于缺乏有效的一二次融合成套开关一体化测试手段。因此, 研究了一二次融合成套开关的一体化全自动测试技术, 梳理总结一二次融合成套开关测试需求, 提出了一体化全自动测试内容及方法, 构建了包含一次控制柜、二次控制柜和测试连接柜在内的一体化全自动测试平台, 实现了成套开关的一体化联合测试, 其测试环境更符合现场运行情况, 与传统测试方式相比, 在测试效率和测试结果可靠性方面均更具优势。

关键词: 一二次融合; 成套开关; 一体化; 全自动测试; 测试平台

中图分类号: TM932 **文献标识码:** A **DOI:** 10.19457/j.1001-2095.dqcd21929

Design and Implementation of Test Platform for Primary and Secondary Integration Switchgear Assembly

SUN Jian¹, LIU Gang², WANG Xiuru², FANG Xin¹, WU Nan¹, JIANG Hongtu³, WANG Wei³

(1. *Electric Power Research Institute of State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Nanjing 211103, Jiangsu, China*; 2. *State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Suqian Power Supply Branch, Suqian 223800, Jiangsu, China*; 3. *Shanghai Wiscom Sunest Power Technology Co., Ltd., Shanghai 200233, China*)

Abstract: For a long time, distribution switchgear is relatively independent in the process of design, manufacture and test, which directly leads to the mismatch of primary and secondary equipment functions and unclear responsibility division. With the continuous development of primary and secondary integration technology, equipment manufacturers carried out in-depth exchanges and integration in the design and manufacturing of primary and secondary equipment. However, traditional primary and secondary independent testing methods are still used in the testing process. The main reason is the lack of effective integrated testing method for primary and secondary integration switchgear assembly. Therefore, the automatic test technology of primary and secondary integration switchgear assembly was studied, the requirements of the test was summarized, the content and method of automatic test were put forward, and an integrated automatic test platform including primary control cabinet, secondary control cabinet and test connection cabinet was construct, and the integrated joint test of switchgear assembly was fulfilled. The test environment correspond better with the field operation. Compared with traditional test methods, it has more advantages in test efficiency and reliability of test results.

Key words: primary and secondary integration; switchgear assembly; integration; automatic test; test platform

随着配电网一二次融合专项工作持续推进, 国内电网企业完成并发布了多项设备类技术标准和测试规范, 有效促进了配电网设备功能成套和技术深度融合^[1-2]。目前, 国内众多一二次设备厂商逐步走向融合, 开展一二次融合设备联合设

计研发工作, 并推出了多种功能融合、型式创新的新型开关设备, 电网公司也开展了首批一二次融合设备整机测试与挂网运行工作^[3-4]。

配电网设备测试是保障设备质量、提高配电网运行可靠性的重要工作^[5]。配电设备在挂网运

基金项目: 国网江苏省电力有限公司科技项目(J2019110)

作者简介: 孙健(1978—), 男, 硕士, 高级工程师, Email: jhongtuly@163.com

行前也应经历型式试验、出厂试验、入网试验和现场试验等各项试验。配电设备数量大、型号多,相应的配电设备测试也持续探索和研究高质量、高效率的测试技术^[6]。

然而,针对一二次融合成套开关设备的测试工作,在型式试验、入网测试等各阶段依然采用传统一次、二次独立测试方式^[7-8],其原因主要在于缺乏有效的一二次融合成套设备整体测试手段,直接导致了一二次融合在技术上和成效上均难以得到有效检验^[9]。因此,本文提出研究一二次融合成套开关的一体化测试平台,梳理并响应一二次融合成套开关测试需求,有效解决了融合成套设备一二次独立测试的现状,全面提高了融合成套开关测试能力,也为一二次融合设备测试提供新的参考。

1 一二次融合成套开关技术特征

传统配电开关一次是指开关本体设备部分,是开关各项功能的实施主体,二次是指开关的智能控制单元部分,是一次的监测、控制部分。一次开关本体包括直接参与配电网连接和开断的高压电气设备,二次智能控制单元则实现配电网保护、测量、控制、计量等功能。传统配电开关一次和二次都是相互独立的设备,通过相互连接和通信实现配电网保护控制等完整功能^[10]。

一二次融合成套开关设备集成突破了传统一次设备、二次设备割裂的状态,将控制部分集成至开关设备中,通过标准航插连接,实现了控制部分和本体部分的可靠连接与标准化信息交互^[11]。一二次融合成套开关的典型方案如图1所示。

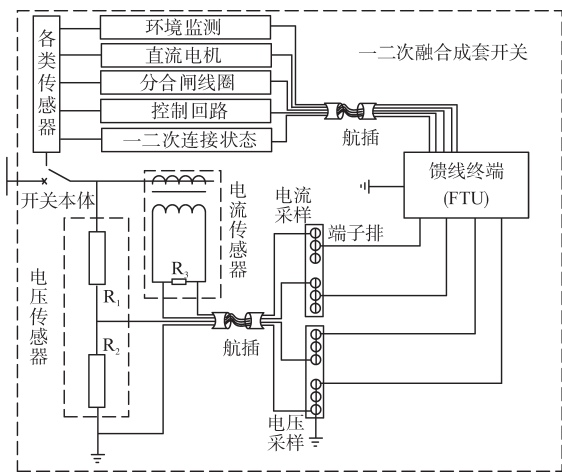


图1 一二次融合成套开关典型方案

Fig.1 Typical scheme of primary and secondary integrated switch

一二次融合成套开关技术优势主要在于:1)一二次开关成套设计、开发,实现配电终端、开关设备在功能层面的深度融合,有利于配电设备各项功能的可靠有效实践;2)一二次融合成套开关采用标准化接口,有利于一二次设备功能拓展、自动运维和快速替换;3)一二次融合成套开关设备的应用,突破了传统故障责任划分界限,有效减少了一二次事故责任纠纷。

此外,国内已在探索集成一二次深度融合的一体化开关设备,即在设备层面不再明确划分一次和二次部分,实现一二次自设备和功能层面的深度融合。然而事实上,这种深度融合的电气设备,不仅需要考虑到二次设备寿命匹配问题,同时也要考虑到二次设备受电磁干扰、机械振动等恶劣运行环境影响,造成二次设备在运维、更换上的困难。

2 一体化全自动测试平台

2.1 整体架构

构建一二次融合成套开关的一体化自动测试平台如图2所示。一二次成套开关测试平台主要分为一次控制柜、二次控制柜以及接线柜3部分。

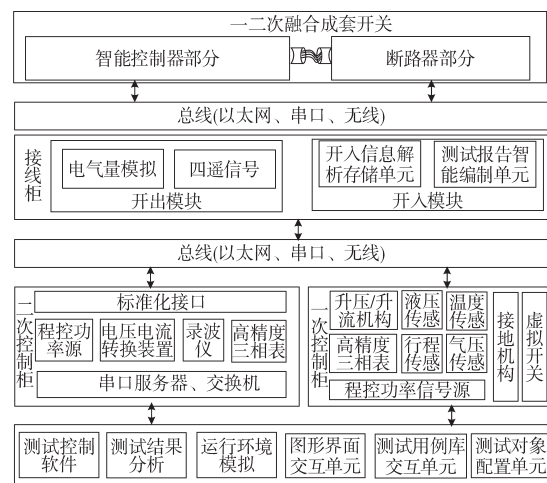


图2 一二次融合成套开关测试平台架构

Fig.2 Architecture of primary and secondary integrated switch test platform

其中一次控制柜主要包括程控功率信号源、高精度三相表、接地机构、虚拟开关、各类传感装置(液压、温度、行程、气压)和升压/升流机构,实现接线柜中一次设备的测试开出控制与测试开入分析。

二次控制柜主要包括程控功率信号源、高精

度三相表、录波仪、电压电流转换装置和标准化接口,实现接线柜中二次设备的测试开出控制与测试开入分析。

此外,一次、二次控制柜部署测试控制软件、测试结果分析模块、运行环境模拟模块等,用于一二次融合成套开关一体化自动测试平台的测试过程控制和报告出口。

接线柜是直接连接成套开关的设备,断路器连接部分经PT/CT升压、升流后可通过测试接线柜输出720 A(最大暂态电流1 000 A)的电流和11 kV电压,能够有效仿真一次侧运行环境;智能控制器连接部分能兼容电子式小信号和电磁式大信号接入,可输出450 V,100 A的电磁式模拟信号及10 V电子式模拟信号,用于二次部分测试时的信号注入。

2.2 测试平台接口模型

标准化接口是一二次融合成套开关的核心技术特征,也是一二次设备功能规范、即插即用等技术应用的基础。

一二次融合成套设备采用标准化的航空插头实现一二次通信和控制,测试过程中,同样依托一二次融合成套开关标准化接口,实现被测设备的快速接入与测试。测试平台配置电磁式接口4个(包括2个26芯航插和2个6芯航插)、电子式接口3个(2个26芯航插和1个4芯航插),如图3所示。

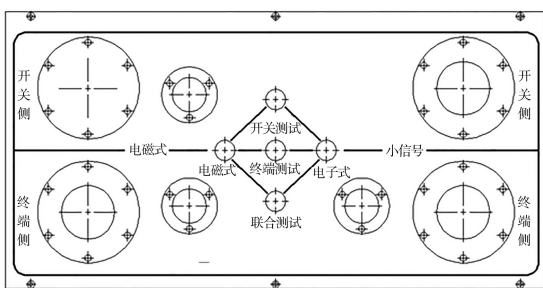


图3 测试平台标准化接口

Fig.3 Standardized interface of test platform

一体化全自动测试平台提供标准化测试接口,各接口定义如表1~表3所示。其中,26芯航空插座用于传输和采集储能、分合闸控制、负荷开关状态、电压电流等信号;6芯防开路航空插座用于传输和采集相电流、零序电流信号;4芯航空插座用于传输电压互感器的供电电源及线电压信号。

表1 电磁式及小信号26芯航插定义

Tab.1 Definition of electromagnetic and small signal 26 core aviation plug

| 引脚号 | 电磁式 | | 小信号 | |
|-----|-------|----------|-------|-------|
| | 标记 | 信号说明 | 标记 | 信号说明 |
| 1 | CN- | 储能- | YXCOM | 遥信公共端 |
| 2 | CN+ | 储能+ | HW | 合位 |
| 3 | HZ- | 合闸- | CN- | 储能- |
| 4 | HZ+ | 合闸+ | CN+ | 储能+ |
| 5 | FZ- | 分闸- | BY1 | 备用1 |
| 6 | FZ+ | 分闸+ | FW | 分位 |
| 7 | Ia | A相电流 | HZ- | 合闸- |
| 8 | Ib | B相电流 | HZ+ | 合闸+ |
| 9 | Ic | C相电流 | BY2 | 备用2 |
| 10 | In | 相电流公共端 | Ia+ | A相电流+ |
| 11 | I0 | 零序电流 | WCN | 未储能 |
| 12 | I0com | 零序电流公共端 | FZ- | 分闸- |
| 13 | BY1 | 备用1 | FZ+ | 分闸+ |
| 14 | BY2 | 备用2 | BY3 | 备用3 |
| 15 | QY | 低气压闭锁 | Ib+ | B相电流+ |
| 16 | QYCOM | 低气压闭锁公共端 | Ia- | A相电流- |
| 17 | PT- | 内置PT- | Ucom | 电压公共端 |
| 18 | PT+ | 内置PT+ | U0+ | 零序电压+ |
| 19 | YXCOM | 遥信公共端 | Ua+ | A相电压+ |
| 20 | HW | 合位 | Ic+ | C相电流+ |
| 21 | FW | 分位 | Ib- | B相电流- |
| 22 | WCN | 储能位 | Uc+ | C相电压+ |
| 23 | U0 | 零序电压 | Ub+ | B相电压+ |
| 24 | U0com | 零序电压公共端 | I0+ | 零序电流+ |
| 25 | BY3 | 备用3 | Ic- | C相电流- |
| 26 | BY4 | 备用4 | I0- | 零序电流- |

表2 电磁式6芯航插定义

Tab.2 Definition of electromagnetic 6-core aviation plug

| 引脚号 | 标记 | 标记说明 |
|-----|-------------|---------------|
| 1 | 1TVa1 | AB线电压(电源)A |
| 2 | 2TVc1 | CB线电压(电源)C |
| 3 | 1TVb1/2TVb1 | AB/BC线电压(电源)B |
| 4 | 1TVa2 | AB线电压(采集)A |
| 5 | 2TVc2 | CB线电压(采集)C |
| 6 | 1TVb2/2TVb2 | AB/BC线电压(采集)B |

表3 电子式4芯航插定义

Tab.3 Definition of electronic 4-core aviation plug

| 引脚号 | 标记 | 标记说明 |
|-----|------|------------|
| 1 | 1TVa | AB线电压(电源)A |
| 2 | 2TVc | CB线电压(电源)C |
| 3 | 1TVb | AB线电压(电源)B |
| 4 | 2TVb | CB线电压(电源)B |

3 一体化自动测试技术

3.1 测试内容及模式

区别于传统一二次独立开关,一二次融合成套开关设备在测试上不仅应进行一次、二次部分独立的功能、性能测试,还开展一二次融合成套开关的传动测试,将一二次成套开关按实际使用情况接入测试平台,测试平台编排测试案例并模拟测试环境,实现一二次融合成套开关的整体测试。

采用独立测试与传动测试相结合的方式,一方面有利于保障一二次融合成套开关的设备质量与功能兼容性,另一方面也提高了设备整体测试效率,降低一二次设备联调试验和现场试验困难。表4为一二次融合成套开关的测试内容,丰富的传动测试能够反应完整的故障信息采集和设备动作链条,验证一二次设备协同工作能力。

表4 融合成套开关测试内容

Tab.4 Test contents of integrated switch

| 序号 | 检测项目 | 测试模式 | 测试内容 |
|----|-------------|------|------------------------------------|
| 1 | 成套化精度检测 | 传动测试 | 成套化相电流、零序电流基本误差 |
| 2 | | 传动测试 | 成套化线电压、零序电压基本误差 |
| 3 | | 传动测试 | 成套化有功功率、无功功率基本误差 |
| 4 | 一次精度检测 | 开关测试 | 一次相电流、零序电流基本误差 |
| 5 | | 开关测试 | 一次线电压、零序电压基本误差 |
| 6 | 二次精度检测 | 终端测试 | 二次相电流、零序电流基本误差 |
| 7 | | 终端测试 | 二次线电压、零序电压基本误差 |
| 8 | | 终端测试 | 二次有功功率、无功功率基本误差 |
| 9 | 一次相位误差检测 | 开关测试 | 一次相电流、零序电流相位误差 |
| 10 | | 开关测试 | 一次线电压、零序电压相位误差 |
| 11 | 配套电源带载能力检测 | 传动测试 | 不投入后备电源,配套电源的带载能力检测 |
| 12 | 传动功能试验 | 传动测试 | 基本功能试验 |
| 13 | | 传动测试 | 瞬时电压反向闭锁试验 |
| 14 | | 传动测试 | 遥控、遥信、遥测(三遥)功能试验 |
| 15 | 故障检测与处理功能试验 | 传动测试 | 参数配置功能试验 |
| 16 | | 传动测试 | 接地故障检测试验 |
| 17 | | 传动测试 | 短路故障检测试验 |
| 18 | | 传动测试 | 重合闸功能试验 |
| 19 | | 传动测试 | 非遮断保护功能试验 |
| 20 | 馈线自动化功能 | 传动测试 | 电压时间型就地馈线自动化逻辑功能、自适应型就地馈线自动化逻辑功能试验 |
| 21 | 防抖动功能试验 | 传动测试 | 开关遥信位置动作正确性试验 |

3.2 测试流程无人化技术

采用一二次融合成套开关一体化全自动测试平台,能够实现成套开关的一二次设备独立测试和联合测试,其测试流程如图4所示,测试过程中仅测试设备连接、测试内容选择需要人工接入,测试执行后直至测试结果统计均无需测试人员值守,有效提高测试效率。



图4 全自动测试平台测试流程

Fig.4 Test flow of full automatic test platform

图5为一体化全自动测试平台测试过程中各模块交互及通信情况,测试前连接被测设备并选择测试项目和测试案例;测试开始后,运行环境仿真模块根据测试序列通过程控功率源及电流、电压放大器提供高压运行环境,同时编制四遥报文模拟主站通信并控制虚拟终端状态,被测一二次融合成套开关根据自身设备逻辑运行动作,经由四遥报文采集、电气量传感、行程传感等模块采集测试结果,测试结果反馈至运行环境仿真模块更新触发下一测试状态;测试结束后,平台统一输出测试过程数据,并进行测试结果判定和编制测试报告。

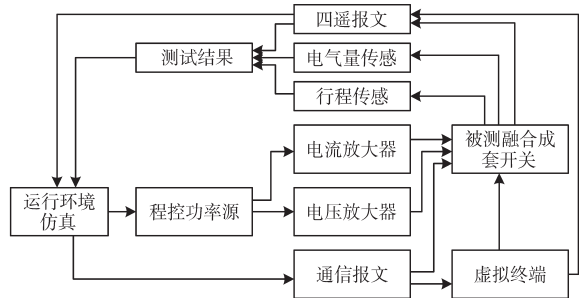


图5 全自动测试平台模块交互

Fig.5 Module interaction of automatic test platform

3.3 测试结果智能分析技术

为实现一体化全自动测试和测试过程无人化,应从测试准备阶段、测试实施阶段及测试总结阶段3个阶段具体考虑自动测试方法。在测试准备阶段实现被测设备的标准化、便捷化和高效接入;在测试过程中实现测试内容无间断逐项实施,实现测试过程无需值守操作;在测试总结阶段则实现测试结果的智能分析和测试报告的自动填写,实现一体化自动测试的全流程闭环,测试结果智能分析技术有效提升测试结果分析效率,避免了人工记录出现错误,也为测试结果维护和测试结果数据挖掘奠定基础。

一体化全自动测试平台测试结果智能分析实现框图如图6所示,测试案例库与运行环境仿

真实时交互,测试案例库根据测试环境和测试内容,向运行环境仿真模块逐项输入测试触发事件,运行环境仿真模块一方面根据触发事件仿真并开出系统电气量、开关量状态,另一方面仿真设备正确动作情况作为测试结果基准。一体化测试平台接线柜负责整体环境模拟输出和被测设备状态传感,实现一次设备分合闸状态、储能状态和电源状态感知与二次设备四遥信息、保护电流、计量电流、分闸输出、分合闸输出、低气压闭锁状态、低气压警告状态的感知。

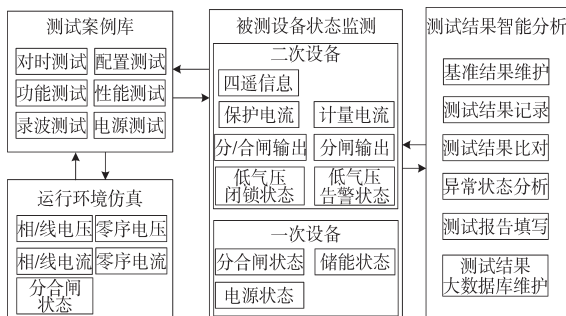


图6 全自动测试平台测试结果智能分析

Fig.6 Intelligent analysis of test results of automatic test platform

测试结果智能分析中则按照基准结果维护、测试结果记录、测试结果比对、异常状态分析、测试报告填写及测试结果大数据维护6项流程实施。部分基准结果维护需根据被测设备相关技术规范在测试前填写维护,其余则通过运行环境仿真模块传递基准结果。测试结果比对主要根据被测设备状态和基准结果情况进行比较,根据测试逻辑要求判定是否合格,根据偏差情况进行原因分析。测试结果大数据维护则是在大量测试过程中,将多种测试不合格情况存储记录,实现测试结果关联与故障快速溯源,协助被测设备质量整改提升。

3.4 技术差异化分析

传统配电开关测试方法如图7所示,传统配电设备测试工作针对单一测试对象和测试内容,采用相应测试工具进行测试信号输入和测试结果观察分析。采用传统测试方法需要专业测试人员测试方案设计、测试设备连接、调试、实施和测试结果分析记录,测试人员需要全程参与。

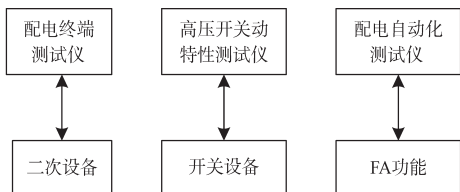


图7 传统配电开关测试方法

Fig.7 Test method of traditional distribution switch

本文提出的一二次融合成套开关测试平台已在多家测试机构实现应用,突破传统测试方法中,测试设备与测试内容一一对应,测试过程全程人工参与的困境,实现了测试过程全自动执行(图8)和测试结果自动分析(图9),全面提升了配电成套开关的测试效率与效益,直接助力实现配电开关类设备“到货全检”的管理目标,保障配电成套开关设备质量与运行安全。



图8 测试全自动执行

Fig.8 Automatic test process

| 手拉手电缆网 测试报告 | | | |
|-------------|--|--------|-----------------|
| 测试方式 | FA组网测试 | 报告日期 | |
| 测试线路名称 | 手拉手电缆网 | | |
| 测试记录 | | 测试时间 | |
| 1 | [1-3]故障 | | |
| 测试用例描述 | 初始分闸开关为:[11] 定了负荷值:[37负荷0.50] 障列表:[20秒1开关与3开关之间A相过流] | | |
| 测试记录 | 15:43:29 723 | [1]开关 | 开关状态 [分→合] |
| | 15:43:29 723 | [2]开关 | 开关状态 [分→合] |
| | 15:43:29 723 | [3]开关 | 开关状态 [分→合] |
| | 15:43:29 723 | [4]开关 | 开关状态 [分→合] |
| | 15:43:29 723 | [5]开关 | 开关状态 [分→合] |
| | 15:43:29 723 | [6]开关 | 开关状态 [分→合] |
| | 15:43:29 723 | [7]开关 | 开关状态 [分→合] |
| | 15:43:29 723 | [8]开关 | 开关状态 [分→合] |
| | 15:43:29 723 | [9]开关 | 开关状态 [分→合] |
| | 15:43:29 723 | [10]开关 | 开关状态 [分→合] |
| | 15:43:29 723 | [12]开关 | 开关状态 [分→合] |
| | 15:43:29 723 | [13]开关 | 开关状态 [分→合] |
| | 15:43:29 723 | [14]开关 | 开关状态 [分→合] |
| | 15:43:29 723 | [15]开关 | 开关状态 [分→合] |
| | 15:43:29 723 | [16]开关 | 开关状态 [分→合] |
| | 15:43:29 723 | [17]开关 | 开关状态 [分→合] |
| | 15:43:29 724 | [18]开关 | 开关状态 [分→合] |
| | 15:43:29 724 | [19]开关 | 开关状态 [分→合] |
| | 15:43:29 724 | [20]开关 | 开关状态 [分→合] |
| | 15:44:20 448 | [1]开关 | 开关状态 [合→分] |
| | 15:44:20 448 | [1]开关 | 过流故障指示器状态 [分→合] |
| | 15:44:30 017 | [3]开关 | 控分 |
| | 15:44:30 017 | [3]开关 | 开关状态 [合→分] |
| | 15:44:31 831 | [1]开关 | 控合 |
| | 15:44:31 831 | [1]开关 | 开关状态 [分→合] |

图9 测试结果智能分析

Fig.9 Intelligent analysis of test results

测试技术用时对比如表5所示。

表5 测试技术用时对比

| Tab.5 Time comparison of test technology | | | | | | | min |
|--|--------|------|--------|------|------|--------|-------|
| 测试环节 | 测试内容设计 | 测试连接 | 测试内容配置 | 测试调试 | 测试实施 | 测试结果记录 | 合计 |
| 传统测试方法 | 30 | 30 | 60 | 60 | 900 | 60 | 1 140 |
| 全自动测试 | 5 | 5 | - | - | 180 | 2 | 192 |

与传统配电设备测试方法相比,采用一二次融合成套开关全自动测试提高测试效率80%以上,人工参与度降低90%以上,此外采用全自动测试技术其优势在于:1)测试系统高度集成,包含高精度功率源、多通道标准表、波形记录仪等;2)测试项目全面,涵盖一次开关、二次终端、融合成套系统的性能及功能试验;3)信号兼容性好,全面兼容传统电磁式信号以及各种小信号传感器信号特性;4)自动化程度高,测试系统可自动切换一次试验、二次试验及一二次传动试验3种模式而不需要重新接线;5)测试可信度高,测试实施过程全自动无人参与,避免测试方法、结果记录中的错误;6)接线效率高,采用全航插接口;7)管理功能全面,实现用户管理、样品管理、测试方案管理、测试过程执行、测试报告汇总等全方位功能。

4 结论

本文研究一二次融合成套开关测试技术与测试平台设计,梳理总结了一二次融合成套开关的技术特征,提出了一体化全自动测试平台整体架构,并给出测试标准化接口方案。进一步,本文研究梳理了一二次融合成套开关在联合测试方面的需求与测试内容,详细阐述了一二次融合成套开关的全自动测试平台测试流程与方法。

与传统配电设备测试方法相比,通过一体化全自动测试平台的推广应用,将有效解决融合成套设备一二次独立测试的现状,其测试方法和环境更加切合现场运行实际,在测试效率、测试结果可靠性等方面也更具优势。

参考文献

- [1] 姚光,方锦,张伟. 配电网一二次融合关键技术及应用[J]. 自动化应用,2019(2):118-119.
- [2] 于海江. 积极探索一二次设备融合解决方案[N]. 中国电力报,2015-11-05(005).
- [3] 黄祖委,熊洽,黄国权,等. 柱上开关一二次融合的技术发展阶段分析[J]. 大众用电,2019,34(2):29-30.
- [4] 邓吉祥. 配电一二次融合成套设备FTU设计方案[J]. 通信电源技术,2018,35(11):201-203,207.
- [5] 吴栋其,杨涛,黄晓明,等. 虚实结合的馈线自动化系统测试平台设计[J]. 电力系统保护与控制,2018,46(19):137-143.
- [6] 罗伟,王海杰,项瑛. 基于逻辑配电终端的馈线自动化系统测试平台[J]. 电力安全技术,2018,20(5):38-42.
- [7] 熊虎,于树义,陈维新,等. 柱上真空断路器的保护功能一二次融合试验研究[J]. 湖北电力,2018,42(2):5-9,31.
- [8] 白雪峰,梁英,范闻博,等. 配电终端自动化检测系统的设计与应用[J]. 电测与仪表,2016,53(S1):191-198.
- [9] 李红青,张志丹,朱吉然,等. 配电网新型一二次融合成套设备测试方法研究[J]. 湖南电力,2018,38(2):47-52.
- [10] 席禹,郭晓斌,陈波,等. 一体化集成的智能柱上开关高可靠性研究与设计[J]. 电气应用,2018,37(19):82-85.
- [11] 王思琳. 智能变电站断路器与二次设备融合技术研究[D]. 沈阳:沈阳工程学院,2017.
- [12] 蔡海青,郭琦,刘仕萍,等. 基于RTDS的快速投切电容器自动装置投切策略研究[J]. 电力工程技术,2019,38(2):50-56.
- [13] 吕继伟. 基于泛在电力物联网的换流站在线监测系统优化综述[J]. 电力工程技术,2019,38(6):9-15.

收稿日期:2020-05-20

修改稿日期:2020-06-28