

光数字继电保护测试仪自动检测系统设计

光数字继电保护测试仪是对继电保护、智能终端等智能装置进行测试的重要工具，其性能指标是否满足要求直接影响到对智能装置进行测试的正确性。但目前针对光数字继电保护测试仪缺乏有效的检测手段，提出了一种对光数字继电保护测试仪实现自动检测的设计方案，该方案应用高速信号处理技术、高速通信技术和软件技术实现对光数字继电保护测试仪的自动检测。

卜强生 宋亮亮/江苏省电力公司电力科学研究院
吴恒福 瞿敏/北京博电新力电气股份有限公司



卜强生/工程师

随着IEC 61850标准体系的推广，电子式互感器、合并单元和智能终端等智能设备在智能变电站中得到广泛应用，其信号传输和设备之间的信息交互方式有了本质上的变化^[1-6]。光数字继电保护测试仪作为电力系统中二次设备的重要测试工具，其测试方法及输入、输出方式相对于传统保护测试仪发生重大改变^[7]。根据测试要求，光数字继电保护测试仪需要模拟合并单元（MU）按照IEC 61850-9-2或IEC 60044-7/8帧格式发送采样值报文，同时订阅和发布GOOSE报文，以实现继电保护、测控装置或智能操作箱等智能设备的测试。光数字继电保护测试仪目前已成为智能变电站调试、检修的重要工具，广泛应用于智能装置的开发、生产以及智能变电站的工程建设和调试之中。

数字式继电保护测试仪的功能是否完备，技术参数是否满足相关标准所规定的技术条件，是保证对智能装置进行可靠检测的基础。目前国内还没有针对

数字式继电保护测试仪的专用检测设备^[8]。对测试仪功能和性能的检测目前只能通过其他间接的方法进行，测试效率较低，测试过程复杂，对测试人员的操作能力要求较高。因此有必要设计针对光数字继电保护测试仪的自动检测系统，该检测系统只需要简单操作就可以按照测试计划自动高效地完成各个项目的测试工作，并能够生成标准格式的测试报告。

该检测系统主要测试功能包括：光纤接口发送光功率检验、报文一致性检验、SV准确度检验、SV额定延时检验、SV报文同步时间检验、时间控制准确度检验、时间测量准确度检验以及长期运行稳定性检验等测试项目。能够自动评估测试结果，并能够生成各种格式的测试报告，整个测试过程，无须人工操作和干预，实现整个测试过程完全自动化，节省了大量的报告整理和编辑时间，提高了检测效率。

系统构成

检测系统由检测装置主机和上位机构成，两者之间通过以太网交互信息，如图1所示。检测装置主机采用嵌入式硬件架构。工作时，接收被测装置输出的数字报文和开关量信息，并实时进行解析和计算。上位机负责测试任务的编辑和参数设定，控制被测装置输出各测试项目相应报文，实时显示测试过程中的各种相关信息及数据，测试完成后生成标准格式的测试报告。

1. 检测装置主机

检测装置主机主要由高性能FPGA、

关键词/Keywords

IEC 61850 ·

光数字继电保护测试仪 ·

自动检测系统 ·

检验方法 ·

国家电网科技项目（52100113058M）。

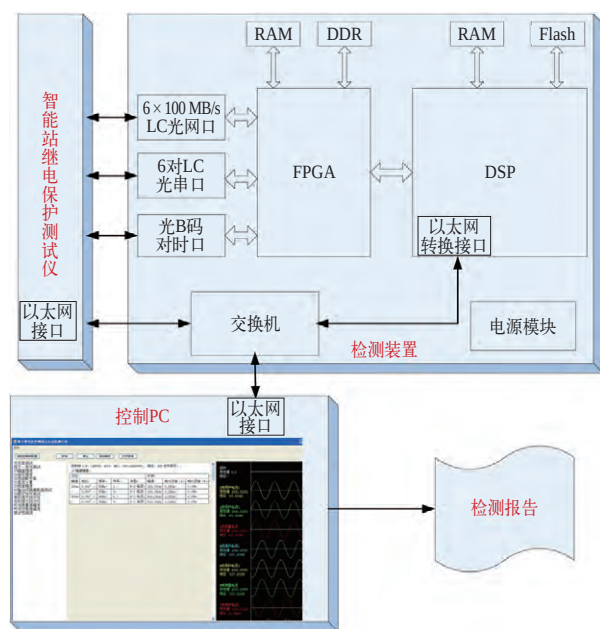


图1 检测系统原理框图

DSP、光以太网接口、光串口、光B码对时接口、电源模块、存储芯片以及交换机构成，具体功能如下。

1) FPGA是整个硬件部分的核心部件，实现数字报文的接收和发送，具有准确的硬件时钟功能，实时接收SV报文和GOOSE报文，并能够实现报文过滤和解析功能。

2) DSP负责接收上位机下达的检测命令，与FPGA通过高速数据总线进行数据交互，接收FPGA经过处理后的报文数据，实现报文数据的分析和异常检测、报文一致性分析及报文数据存储等功能。

3) 光以太网接口用于接收和发送符合DL/T 860.92 (IEC 61850-9-2) 规约的SV报文以及符合DL/T 860.81 (IEC 61850-8-1) 规约的GOOSE报文。

4) 光串口用于接收和发送符合GB/T 20840.8 (IEC 60044-8) 规约的FT3报文。

5) 光B码对时接口主要用于对外输出高精度的B码信号，也可以接收外部B码时钟源提供的对时信号。

6) 电源模块为整个检测装置提供稳定可靠的工作电源。

7) 交换机是上位机与检测装置完成数据交互的桥梁，同时上位机也通过交换机控制被测数字式继电保护测试仪产生于测试项目相关的SV或GOOSE数字报文。

2. 上位机

上位机是检测系统的人机交互接口，实现对检测任务的管理。主要功能包括：检测计划制定、测试过程的监视和控制、检测报告的生成和处理以及对被测装置的输出进行控制。

检测计划按照检验规程编写定义全部检测功能和项目。通过模板组织检测流程和定义检测方法，从而实现检测过程自动化。检测模板包括软件功能组件的调用命令、检测运行控制参数以及检测结果的链接参数等部分。当检测过程中需要改变被测装置输出时，上位机通过调用动态链接库中的控制函数以及预先统一定义的配置参数实现对被测装置的输出进行控制。

测试项目

参照国家电网公司及电力行业相关标准和数字化保护测试仪现场使用实际经验，检测系统实现了如下测试功能。

1) 智能变电站继电保护测试仪的光纤接口发送光功率测试。对智能化变电站继电保护测试仪光纤输出接口的发送光功率进行测量，根据测量光功率数值，确定是否符合标准的规定。

2) 智能变电站继电保护测试仪的装置报文一致性测试。智能化变电站继电保护测试仪配置输出SV和GOOSE报文后，检查报文中信息是否与SCL文件中的描述一致。对于GOOSE报文，应检查MACAddress、VLANID、Priority、AppID、GOOSEID、ConfigRevision和Data等参数及数据；对于IEC 61850-9-2报文，检查Misaddress、VLANID、Priority、AppID、NoASDU、SVID和Data等参数及数据；对于IEC 60044-7/8 (即FT3) 报文，检查AppID、LDName和DataSetName等参数及数据。

3) 对智能变电站继电保护测试仪的SV准确

度测试。智能化变电站继电保护测试仪SV准确度检验包括：SV的幅值和相位准确度检验、频率准确度检验以及总谐波畸变率和直流分量检验。

4) 智能变电站继电保护测试仪的SV输出性能测试。对智能化变电站继电保护测试仪SV输出性能检验包括：SV输出间隔离散值检验、SV额定延时检验、单机报文输出不同步时间检验和双机报文输出不同步时间检验。

5) 智能变电站继电保护测试仪的时间准确度测试。对智能化变电站继电保护测试仪时间准确度检验包括：时间测量准确度检验和时间控制准确度检验。

6) 智能变电站继电保护测试仪的长期运行稳定性测试。在继电保护测试仪发送SV和GOOSE报文时，持续发送24 h，期间检测其输出是否出现发送间隔偏差过大、丢帧、报文重复、序号跳变、同步标志位变位、品质位变位和检修状态变位等异常状态。

具体测试功能如图2所示。

光功率测试	SV额定延时检测
SV&GOOSE报文一致性测试	单装置输出同步性检测
SV幅值相位频率准确度测试	双装置输出同步性检测
SV谐波畸变率测试	时间控制准确度检测
SV直流分量测试	时间测量准确度检测
SV输出离散性测试	长期稳定性检测

图2 测试功能

测试流程

光数字继电保护测试仪检测系统的测试方式包括自动测试和手动测试两种模式。自动模式采用一键式启动，整个检测执行期间，无须人工干预，待所有检测项目检测完成后，自动生成检测报告，并自动对各检测项目测试结果进行评估。手动方式时项目检测的具体参数可以自行灵活设置，并可以针对检测出来的不合格项目进行重复测试。

1. 自动检测方式

1) 客户端软件打开后，用户依据自己的检测

需要，选择待检测项目，被选中项目依据被选中的顺序建立检测任务列表。

2) 启动测试后，上位机首先调用被测装置对应的动态链接库中的控制接口函数，与被测装置建立连接。

3) 上位机将相关数据和命令发送至被测装置，对被测装置的采样值控制块、GOOSE控制块等参数进行配置。

4) 配置完成后，通过调用动态链接库控制接口函数对被测装置的输出报文进行控制。

5) 被测装置输出稳定后，检测装置采集被测装置的输出的SV报文、GOOSE报文和输出的开关量。

6) 检测装置对采集到的报文进行解析和计算，上位机通过以太网口获取检测装置的测试结果数据，显示相关测试信息，自动对测试结果进行评估，所有测试项目完成后并生成检测报告。

2. 手动检测方式

1) 根据待测的项目，应用被测装置厂家的软件控制被测装置输出相应的数字报文。

2) 手动配置选定检测项目的相关参数并开始测试。

3) 检测装置采集被测测试仪的输出报文并进行解析。

4) 上位机通过以太网口获取检测装置的测试结果数据，显示相关测试信息，自动对测试结果进行评估，所有测试项目完成后并生成检测报告。

检测过程自动化

为了实现检测过程自动化，检测系统必须依据检测项目来控制继电保护测试仪的输出，从而实现所有项目的自动检测。由于不同测试仪厂家的控制方式不同，为了使该检测系统适用于所有测试仪，必须对继电保护测试仪的软件接口进行规范。而通过定义统一的动态接口函数，在接口函数中由各厂家对功能进行封装。执行时客户端软件通过调用不同测试仪厂家提供的接口链接库实现对其测试仪的输出进行控制，软件界面如图3所示。

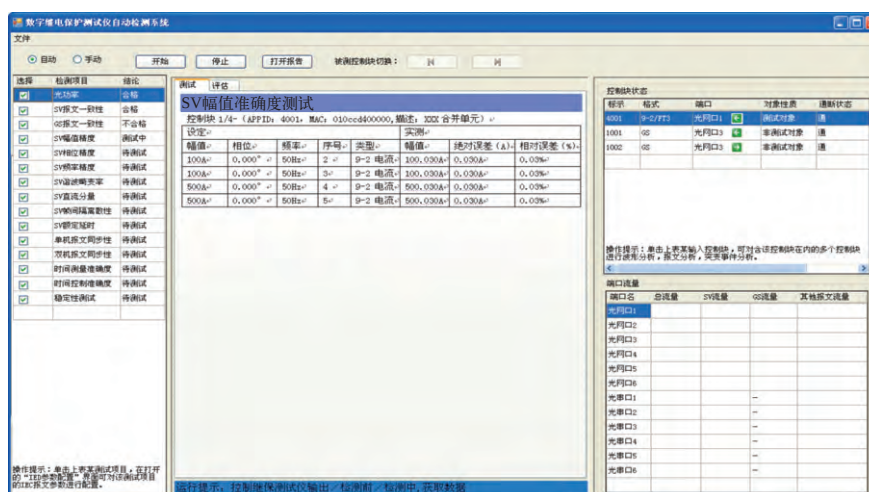


图3 软件界面示意图

结束语

光数字继电保护测试仪自动检测系统, 对被测装置输出的SV、GOOSE报文的正确性、准确性和同步性等重要指标实现自动检测, 并自动生成检验报告, 提高了检测效率, 并可开展对测试仪的长期稳定性进行检测, 解决了目前光数字继电保护测试仪功能和性能缺乏有效检测手段的问题, 提高了测试结果的可信度, 保证了智能变电站调试和维护工作正确、有效开展。

该检测系统对国内几个主流厂家的数字式继电保护测试仪指标进行了手动和自动测试, 测试结果表明, 该检测系统测试准确度高, 测试速度快, 测试重复性好, 并且具有良好的硬件和软件扩展性, 能够满足将来复杂程度更高的测试要求。

测试过程中存在的主要问题如下。

1) 部分厂家的数字式保护测试仪通信接口不开放, 导致这些厂家的测试仪器只能用手动测试方式完成相关指标的检测, 一定程度上降低了测试效率, 因此制定统一的数字式保护测试仪的通信接口规范对于检测机构完成数字式保护测试仪的自动测试工作是非常必要的。

2) 由于IEC 61850本身的复杂性和继电保护测试仪功能的多样性^[9], 导致数字式保护测试仪的指标繁多, 这些指标全部测试难度和工作量很大, 如何从这些指标中提出关键性的指标是需要认真考虑和研究的问题^[10]。

参考文献

- [1] 陈安伟, 等. IEC 61850在变电站中的工程应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2012.
- [2] 何磊. IEC 61850应用入门[M]. 北京: 中国电力出版社, 2012.
- [3] 高翔. 智能变电站技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2012.
- [4] 冯军. 智能变电站原理及测试技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2011.
- [5] 国家电网公司. Q/GDW 441—2010 智能变电站继电保护技术规范[S].
- [6] 冯硕, 黄梅, 李晓朋. 基于IEC 61850的光数字继电保护测试仪的研制[J]. 继电器, 2008, 36(8): 23-25, 45.
- [7] 李先姝, 黄家栋, 唐宝锋. 数字化变电站继电保护测试技术的分析研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012(3): 105-108.
- [8] 杨涛, 梁海东, 张钟平. IEC 61850数字式继电保护测试仪的检测及技术分析[J]. 浙江电力, 2012(1): 10-13.
- [9] 徐志恒, 刘继武, 向前. 微机保护测试仪需要考虑到若干关键问题[J]. 继电器, 2004, 32(17): 64-66.
- [10] 高磊, 卜强生, 陆伟, 等. IEC 61850继电保护试验装置关键指标及其检验方法的研究[J]. 电测与仪表, 2013(12): 105-108.

(收稿日期: 2015-01-13) EA