

DOI: 10.7667/PSPC160184

一种用于智能高压设备的分布式测试用例实现方法

路光辉¹, 周钟¹, 雍明超¹, 寇晓适², 董曼玲², 郑改玲³

(1. 许继集团有限公司, 河南 许昌 461000; 2. 国网河南省电力公司电力科学研究院, 河南 郑州 450052;
3. 许昌供电公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 针对目前智能高压设备系统在进行联调测试时操作困难和效率低等问题, 提出一种用于智能高压设备系统级测试的分布式测试用例实现方法。采用智能高压设备系统级测试的统一建模技术, 生成总测试用例以确保各种工况下测试行为和时序的正确性和协调性。依据角色定义这一特征元素, 将相同角色的序列状态从总测试用例中抽取出来, 并按照执行顺序重新组合成该角色的子测试用例。各测试设备执行各自测试子用例, 并通过信息交互实现配合联动, 自动完成测试过程中的工况模拟、信息收集和分析评估, 实现对被测试设备的功能验证和性能检测。设计开发了相应的智能高压设备测试系统, 试验及现场运行结果表明, 系统工作可靠, 性能稳定, 推广应用价值高。
关键词: 智能高压设备; 在线监测; 角色定义; 测试用例; 闭环测试

An implementation of system-level distributed test cases for smart high-voltage equipment system

LU Guanghui¹, ZHOU Zhong¹, YONG Mingchao¹, KOU Xiaoshi², DONG Manling², ZHENG Gailing³

(1. XJ Group Corporation, Xuchang 461000, China; 2. State Grid Henan Electric Power Research Institute, Zhengzhou 450052, China; 3. Xuchang Power Supply Company, Xuchang 461000, China)

Abstract: Because it is of difficulty and low efficiency in the smart high-voltage equipment system joint testing at present, an implementation of system-level distributed test cases for smart high-voltage equipment is presented. By the unified modeling technology for smart high-voltage equipment system-level test, generating total test cases to ensure the correctness and coordination of testing behavior and testing timing under various working conditions. According to characteristic elements of role definition, the same role sequence state is extracted from the total test cases, and its sub-test cases are recombined by executive order. The testing devices perform their test cases respectively, achieving working condition simulating, information collection and analysis in the testing process automatically by information exchange, completing function verification and performance testing for the testing device. The corresponding smart high-voltage equipment test system is designed and developed, the result of testing and field operation shows that the system has reliability, stable performance and high application value.

This work is supported by Major Science and Technology Specialized Fund of State Grid Corporation of China "Reliability Research on Smart Substation by and Intelligent Component".

Key words: smart high-voltage equipment; on-line monitoring; role definition; test cases; closed-loop testing

0 引言

高压设备智能化是智能电网建设的重要内容之一, 通过高压设备的状态感知、风险评估、智能控制和优化调节等功能实现高压设备全寿命周期管理和电网优化运行^[1-8]。为保证智能高压设备可靠运行, 需在产品设计、出厂检验或现场安装阶段进行

基本功能和性能指标检查等各类测试。智能高压设备系统涵盖包括传感器层、间隔层和站控层等多个设备, 上述设备基于网络进行多种信息流(测量信息流、监测信息流、控制信息流和保护信息流)的交互, 并相互配合实现智能高压设备整体功能^[9-12]。上述特点使得系统级测试不但复杂繁琐, 而且对测试系统的运行工况和时序也要求较高^[13-16]。

目前实际工程中由于现场条件限制, 往往只进行单装置级的测试, 系统级测试所要求的连续工况模拟由人工配合完成, 系统性能也由人工评估, 已

基金项目: 国家电网公司重大科技专项“智能变电站母线及智能组件可靠性研究”

暴露出对人员要求高、耗时长、测试不完整和测试效率低下等诸多问题。

针对现有技术的不足, 本文提供一种适用于智能高压设备系统级测试的分布式测试用例实现方法, 该方法能够方便地实现智能高压设备系统级的自动测试和效果评估, 具备效率高和开放性好等优点。

1 测试系统构成和测试场景分析

针对测试环境的系统构架和测试要求, 明确系统中各设备的任务和流程, 进行测试场景分析。不失一般性, 图 1 给出了一个智能高压设备测试系统构架的示例图, 该系统参照工程基本应用要求, 由三层组成, 最上层是由站端模拟设备(模拟变电站站控层的后台系统)、对时装置和测控装置构成, 中间层为间隔层设备, 包括控制类智能组件和监测类智能组件两大类, 下层为智能高压设备测试仪, 用以模拟高压设备上安装的各类传感器的接口。图中所示环境中, 作为智能高压设备的核心部件的控制类智能组件和监测类智能组件为被测试设备, 站端模拟设备和智能高压设备测试仪为主要测试设备。其中, 站端单元在测试过程中角色为站端后台, 用以接收和汇总下级设备的各类信息, 实现设备运行状态和控制状态的可视化; 同时作为站端人工控制平台, 实现诸如倒闸操作或者有载调压等控制命令的下发和过程反馈; 同时站端单元在测试过程中也承担评判员角色, 通过比较被测设备的动作反馈和测试预期的差异来评估被测试设备的性能。智能高压设备测试仪在测试过程中的角色则是高压设备本体, 同时也承担评判员角色, 一方面动态模拟高压设备运行工况和操作工况, 另一方面采集被测试设

备的各类信息, 实现对其动作行为正确性的检查。对时装置和测控装置为辅助测试设备, 分别提供稳定的对时数据源和实现测控信息传递。

2 方案阐述

本文提出的智能高压设备系统级测试的分布式测试用例实现方法主要内容包括: 首先根据测试要求对测试设备行为统一建模, 生成总测试用例以确保各种工况下测试行为和测试时序的正确性和协调性; 其次, 依据角色定义这一特征元素, 将相同角色的序列状态从总测试用例中抽取出来, 并按照执行顺序重新组合形成该角色的子测试用例; 再次, 各测试设备执行各自测试子用例, 通过信息交互实现配合联动, 完成测试工况的全过程模拟; 最后, 各测试设备对测试过程中的动作反馈和数据信息进行收集、分析和评估, 共同完成对被测试设备的功能验证和性能检测。

智能高压设备系统级测试的分布式测试用例实现方案如下。

第一步: 首先进行测试系统和测试工况分析, 根据测试环境的系统构架和测试要求, 明确系统中各设备的任务和基本任务要素, 进行测试工况分析, 确定测试场景, 这是下一步建模的基础。

第二步: 根据测试要求对测试设备行为和测试场景^[17-22]要求统一建模, 生成总测试用例。该步骤主要是对测试需求进行直观且无二义性的描述, 作为测试活动的基础。该测试用例需对系统工况的时序、测试工况、设备行为关联和序列转换方式进行规范化描述, 同时进行角色定义, 即根据测试系统构架和设备组成将测试角色分配给相关测试仪器进行承担(参见图 2)。把某一工况进行描述的时序、测试工况等基本元素组织起来形成序列状态页, 全部序列状态页按执行顺序排列组织形成总测试用例库。统一建模是从系统化角度来确保各种工况下测试行为和测试时序的正确性和协调性。

第三步: 依据角色定义这一特征元素, 将相同角色的序列状态所关联的基本元素从总测试用例中抽取出来, 并按照执行顺序重新组合形成该角色的子测试用例。由于每台测试设备对应一个角色, 因此, 基于总测试用例中的角色可生成每台测试设备的子测试用例(参见图 2), 子测试用例对测试仪器设备的测试状态执行顺序、工况描述、序列转换方法、序列行为和角色注释等进行规范化描述。子测试用例是测试仪器执行的具体测试步骤的有序集合, 应

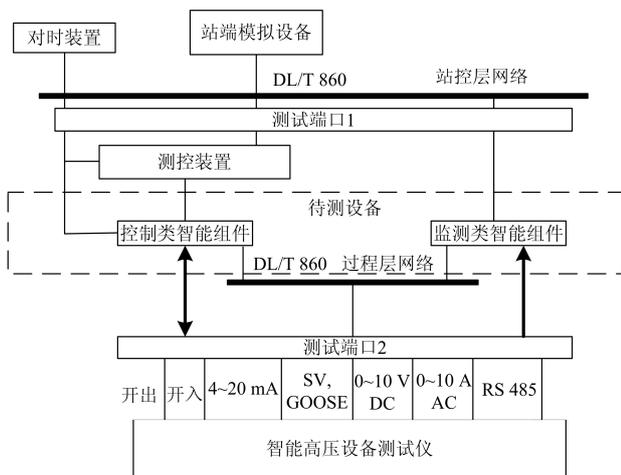


图 1 一个智能高压设备测试系统构架的示例图
Fig. 1 An example of smart high voltage equipment test system architecture

方便实现子测试用例分布式安装, 文件格式满足不同测试仪器设备的调用要求。

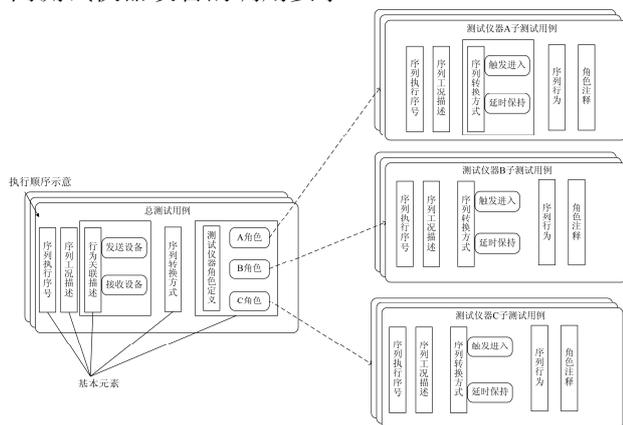


图2 测试用例统一建模模型

Fig. 2 Schematic of test case model of the unified modeling

第四步：测试启动后，各测试设备执行各自测试子用例。各测试设备在执行测试用例时，一方面要根据预先设定的时序进行相应模拟量或开关量的输出来实现高压设备工况和测试设备环境的仿真，另一方面也要实时采集被测试设备输出信息和其他测试仪器的交互信息，根据交互信息进行测试序列中下一个工况的执行或相关工况的跳转。测试设备通过与被测试设备或其他测试设备的信息实时交互和配合联动，完成测试工况的全过程模拟。

第五步：各测试设备对测试过程中的动作反馈和数据信息进行分析 and 评估，共同完成对被测试设备的功能验证和性能检测。

所述方案实现已经过实际系统的验证，实现简单可靠，能够自动完成智能高压设备系统级测试要求；同时，对于上述过程中建立的具有代表性的测试用例可以固化，提升了测试系统的重用性和灵活性，推广应用前景广阔。

3 应用实施

下面以智能高压设备系统的有载调压测试为例对该方案进行深入描述。

1) 测试系统和测试场景分析

分析测试环境的系统构架和测试要求，了解系统中各设备的主要任务，明确测试场景。图1给出了一个智能高压设备测试的系统构架的示例图，该系统按照实际工程基本应用要求由三层组成，最上层是由站端模拟设备(模拟变电站站控层的后台系统)、对时装置和测控装置构成，中间层为间隔层设备，包括控制类智能组件和监测类智能组件两大类，

下层为智能高压设备测试仪，用以模拟高压设备上安装的各类传感器的接口。图中所示环境中，作为智能高压设备的核心部件的控制类智能组件和监测类智能组件为被测试设备，站端模拟设备和智能高压设备测试仪为主要测试设备。其中，站端单元在测试过程中角色为站端后台，用以接收和汇总下级设备的各类信息，实现设备运行状态和控制状态的可视化；同时作为站端人工控制平台，实现诸如倒闸操作或者有载调压等的控制命令的下发和执行过程反馈；同时站端单元在测试过程中也承担裁判员角色，通过比较系统动作反馈和测试预期的实现评估被测试设备的性能。智能高压设备测试仪的角色则是高压设备和裁判员，一方面动态模拟高压设备运行工况和操作工况，另一方面采集被测试设备的各类信息，实现对其动作行为正确性的检查。对时装置和测控装置为辅助测试设备，分别具有提供稳定的对时数据源和信息传递的作用。

有载调压在电力系统中有着重要的作用，电力系统新增的大型电力变压器都采用有载调压器。有载调压分为远方控制和就地控制两种模式，这里以涉及站端设备、间隔层设备和过程层设备的远方控制模式由站端模拟设备发出有载调压控制命令给测控，测控下发有载调压控制命令给智能终端，智能终端输出有载调压命令至高压设备，高压设备按照控制要求改变运行状态；控制类智能组件获取高压设备(由智能高压设备测试仪模拟)动作调节前后的运行状态，并将高压设备动作控制过程中的状态上送测控，测控将控制过程状态上送站端模拟设备，形成一个完整的调节过程。

2) 进行测试用例统一建模，生成总测试用例

根据测试要求对测试设备行为统一建模，细化测试要求，分解测试任务，生成总测试用例，总测试用例主要从全局角度对系统工况所需的行为和时序进行系统化的描述和规范化的表达，总测试用例的不同过程中需明确相应动作主体，即将测试角色分配给相关测试仪器进行承担。图1给出了测试用例统一建模模型，模型中包含状态的时序、测试工况、设备行为关联、序列转换方式和角色定义等基本元素。表1以有载调压远方控制测试为例，给出了一个实例化的总测试用例。

3) 子测试用例生成

依据角色定义这一基本元素，将相同角色的序列状态从总测试用例中抽取出来，并按照顺序重新

表 1 有载调压系统级测试总测试用例

Table 1 On-load voltage regulating testing total test cases

序号	工况描述	发送设备	接收设备	序列转换方式	角色说明
1	进入测试初始状态站端发出有载调压控制命令	站端模拟设备	智能高压设备测试仪	触发模式, 通知系统内相关设备如智能高压设备测试仪进入测试前工况	站端模拟设备启动测试
2	模拟一次设备运行状态时的电流电压开关量等信号作为测试前状态	智能高压设备测试仪	智能终端	延时模式: 时间持续 10 s	智能高压设备测试仪模拟测试前一次设备的运行工况
	采集一次设备运行状态信息	智能终端	测控装置		被测设备智能终端采集一次设备运行信息
	上传一次设备运行状态信息	测控装置	站端模拟设备		站端模拟设备获取一次设备运行状态信息
3	站端发出有载调压控制命令	站端模拟设备	测控装置	触发模式: 序列 2 时间到即启动	站端模拟设备启动测试
4	测控装置接收站端发出的有载调压控制命令后下传给智能终端	测控装置	智能终端	触发模式: 接收到站端发出的有载调压控制命令	测控装置信息下传
5	控制类智能组件的控制输出	控制类智能组件	智能高压设备测试仪	触发模式: 接收到测控发出的有载调压控制命令	智能终端发出有载调压命令(开出)
6	采集到智能终端发出的开入信息后模拟高压设备在调节过程中的反馈量	智能终端	智能高压设备测试仪	触发模式: 接收到智能终端发出的有载调压控制命令	智能高压设备测试仪模拟高压设备在调节过程中的反馈量, 同时评估智能终端的动作行为和时间是否符合预期。
7	读取控制结果反馈信息	智能高压设备测试仪	控制类智能组件	延时模式: 时间持续 10 s	智能终端采集高压设备调节后状态
	控制结果反馈信息上传	控制类智能组件	测控装置		信息交互
	控制结果反馈信息上传	测控装置	站端模拟设备		信息交互
	对本次测试情况进行评估, 记录测试结果	站端模拟设备	测试评估文件		站端模拟设备评估智能终端的动作行为和时间是否符合预期
8	结束测试	站端模拟设备	智能高压设备测试仪等	触发模式, 通知系统内相关设备如智能高压设备测试仪结束测试	站端模拟设备结束测试, 记录报告; 智能高压设备测试仪停止输出。

组合形成该角色的子测试用例。由于每台测试设备对应一个角色, 因此基于总测试用例中的角色可生成每台测试设备对应的子测试用例(参见图 2), 子测试用例对测试仪器设备的测试状态执行顺序、工况描述、序列转换方法、序列行为和角色注释等进行规范化描述, 同时实现子测试用例分布式安装。基于有载调压远方控制测试的示例, 文中给出了一个站端模拟设备的子测试用例(见表 2)和一个智能高压设备测试仪的子测试用例(见表 3)的实现示例。子测试用例是测试仪器执行的具体测试步骤, 其文件格式应满足测试仪器设备的运行要求, 可为 TZT 格式, 可直接由测试设备加载并在测试时调用。站端模拟设备测试用例则可由测试 APP 模块实现。

4) 测试执行

测试启动后, 各测试仪器设备执行各自测试子用例(如图 3 所示)。各测试设备在执行测试用例时, 一方面要根据预先设定的时序进行相应模拟量或开关量的输出来实现高压设备工况和测试设备环境的仿真, 另一方面也要实时采集被测试设备输出信息和其他测试仪器的交互信息, 根据交互信息进行测

表 2 站端模拟设备子测试用例

Table 2 Sub-test cases of stand side simulation equipment

序号	工况描述	序列转换方式	序列行为	角色注释
1	测试准备状态	触发模式: 人工启动或序列包调用启动	通过消息通知系统内相关设备如智能高压设备测试仪进入测试前工况	站端模拟设备启动测试
2	操作前高压设备状态	延时模式: 时间持续 10 s	进入操作测试前状态, 通过信息交互获取高压设备状态信息	站端模拟设备获取操作测试前高压设备状态信息
3	站端发出有载调压控制命令	触发模式: 序列 2 延时 10 s 时间到即启动测试	向间隔层发出有载调压控制命令	站端模拟设备输出有载调压命令
4	回读高压设备状态, 检查操作是否成功	延时模式: 时间持续 10 s	获取高压设备状态, 检查操作是否成功; 同时评估智能终端的动作行为和时间是否符合预期; 生成测试评估文件	站端模拟设备回读高压设备状态, 检查操作是否成功
	对本次测试情况进行评估, 记录测试结果			站端模拟设备评估智能终端的动作行为和时间是否符合预期
5	结束测试	触发模式: 序列 4 延时 10 s 时间到即进入该状态	测试评估文件保存	站端模拟设备结束本次测试。

表 3 智能高压设备测试仪子测试用例

Table 3 Sub-test cases of smart testing instrument

序号	工况描述	序列转换方式	序列行为	角色注释
1	测试等待状态	触发模式: 接收到站端模拟设备发出的启动测试消息后进入下一状态	等待系统测试开始	智能高压设备测试仪等待站端单元测试启动消息。
2	有载调压操作前的一次设备运行状态	延时模式: 时间持续 10 s	输出一次设备正常运行时的电流电压开关量等信号模拟有载调压测试前状态	智能高压设备测试仪模拟一次设备在有载调压前的运行工况。
	有载调压过程监测	触发模式: 接收到智能终端设备发出的调压接点信号后立即进入下一状态	监测网络上测控装置发出的有载调压命令 监测智能终端设备发出的调压动作信号	智能高压设备测试仪监测网络上测控装置发出的有载调压命令。 智能高压设备测试仪监测网络上智能终端发出的有载调压命令。
3	根据有载调压命令变更一次设备运行状态	延时模式: 时间持续 10 s	根据有载调压命令变更一次设备运行状态。同时评估智能终端的动作行为和时间内是否符合预期; 生成测试评估文件	智能高压设备测试仪根据有载调压命令变更一次设备运行状态。
	对本次测试情况进行评估, 记录测试结果		智能高压设备测试仪评估智能终端的动作行为和时间内是否符合预期	
4	结束测试	触发模式: 序列 3 延时 10 s 时间到即进入该状态	测试评估文件保存并停止测试输出	智能高压设备测试仪结束本次测试。

试设备通过与被测试设备或其他测试设备的信息实时交互和配合联动, 完成测试工况的全过程模拟。图 4 给出了有载调压系统测试的过程示例, ① 站端模拟设备发出有载调压控制命令给测控, ② 测控下发有载调压控制命令给控制类智能组件(如智能终端), ③、④、⑥ 控制类智能组件获取高压设备(由智能高压设备测试仪模拟)当前运行状态, ⑤ 控制类智能组件发出有载调压命令给高压设备, 高压设备按照控制要求改变运行状态, ③、④、⑥ 控制类智能组件获取高压设备(由智能高压设备测试仪模拟)动作调节后的运行状态, ⑦ 控制类智能组件将高压设备动作调节后的运行状态上送测控, ⑧ 测控将高压设备动作调节后的运行状态上送站端模拟设备, 形成一个完整的调节过程。



图 4 智能高压设备测试系统

Fig. 4 Smart high voltage equipment test system

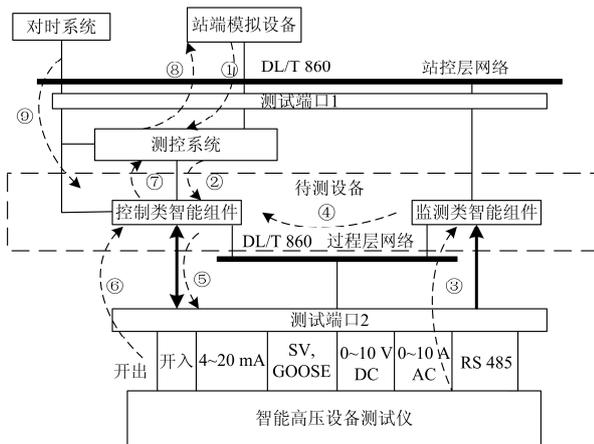


图 3 测试执行工况示意图

Fig. 3 Schematic of the test execution condition

试序列中下一个工况的执行或相关工况的跳转。测

5) 进行测试结果评估

各测试设备对测试过程中的动作反馈情况和数据信息进行分析和检查, 共同完成对被测试设备的功能验证和性能检测。测试评估完成后, 结束本次测试。

基于本文方案研发的智能高压设备测试系统见图 4。

4 结论

本文提出一种用于智能高压设备系统级测试的分布式测试用例实现的技术方法。该方法通过智能高压设备系统级测试的统一建模技术, 生成总测试用例以确保各种工况下测试行为和测试时序的正确

性和协调性；依据角色定义这一特征元素，将相同角色的序列状态从总测试用例中抽取出来，并按照执行顺序重新组合形成该角色的子测试用例；各测试设备执行各自测试子用例，通过信息交互实现配合联动，自动进行测试和评估，完成对被测试设备的功能验证和性能检测。实际应用中，成熟的测试用例可以固化，对新的测试需求可以进行测试用例的扩展。该方法能够方便实现智能高压设备系统级的自动测试和效果评估，具备效率高和开放性好等优点。

根据本文讨论的方案研制的 CBS-8000T 智能高压设备测试系统已经在多个工程中投入使用，现场运行结果表明，系统工作可靠，性能稳定，应用前景广阔。

参考文献

- [1] 殷晓刚, 韩云, 郑伟. 浅谈智能高压电力设备与传统高压电力设备的差异[J]. 高压电器, 2012, 48(4): 75-79.
YIN Xiaogang, HAN Yun, ZHENG Wei. Discussion on the differences between smart and traditional high-voltage power equipment[J]. High Voltage Apparatus, 2012, 48(4): 75-79.
- [2] 刘有为, 邓彦国, 吴立远. 高压设备智能化方案及技术特征[J]. 电网技术, 2010, 34(7): 1-4.
LIU Youwei, DENG Yanguo, WU Liyuan. Technical characteristics and solution of smart high-voltage equipment[J]. Power System Technology, 2010, 34(7): 1-4.
- [3] 罗理鉴, 黄少锋, 江清楷. 智能变电站智能一次设备框架设计[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(11): 120-124.
LUO Lijian, HUANG Shaofeng, JIANG Qingkai. Framework design of smart primary equipment in smart substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(11): 120-124.
- [4] 王建华, 张国钢, 耿英三, 等. 智能电器最新技术研究及应用发展前景[J]. 电工技术学报, 2015, 30(9): 1-11.
WANG Jianhua, ZHANG Guogang, GENG Yingsan, et al. The latest technology research and application prospects of the intelligent electrical apparatus[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(9): 1-11.
- [5] 杨丽徙, 曾新梅, 刘蓉. 变电站电气一次设备智能化问题的研究综述[J]. 高压电器, 2012, 48(9): 99-103.
YANG Lixi, ZENG Xinmei, LIU Rong. Review of electric equipment smartization in substation[J]. High Voltage Apparatus, 2012, 48(9): 99-103.
- [6] 刘有为, 肖燕, 许渊. 智能高压设备技术策略分析[J]. 电网技术, 2010, 34(12): 11-14.
LIU Youwei, XIAO Yan, XU Yuan. Analysis of the technical strategy to smart high voltage equipment[J]. Power System Technology, 2010, 34(12): 11-14.
- [7] 张冠军, 黄新波, 赵文彬. 智能化电力变压器的概念与实现[J]. 高科技与产业化, 2009, 5(7): 86-90.
ZHANG Guanjun, HUANG Xinbo, ZHAO Wenbin. Concept and realization of Smart power transformer[J]. High-Technology & Industrialization, 2009, 5(7): 86-90.
- [8] 张猛, 申春红, 张库娃, 等. 智能化 GIS 的研究[J]. 高压电器, 2011, 47(3): 6-11.
ZHANG Meng, SHEN Chunhong, ZHANG Kuwa, et al. Research of smart GIS[J]. High Voltage Apparatus, 2011, 47(3): 6-11.
- [9] 刘有为, 周华. 智能高压开关设备信息流方案设计[J]. 高压电器, 2011, 47(1): 1-4.
LIU Youwei, ZHOU Hua. Information flow scheme designed for smart HV switchgear[J]. High Voltage Apparatus, 2011, 47(1): 1-4.
- [10] 刘有为. 智能电力变压器信息流方案的设计[J]. 电网技术, 2011, 35(1): 1-4.
LIU Youwei. Scheme design of information flow for smart power transformers[J]. Power System Technology, 2011, 35(1): 1-4.
- [11] 杨凯, 余高旺, 宋勇辉, 等. 智能变电站冗余数据处理方案的研究与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(12): 150-154.
YANG Kai, YU Gaowang, SONG Yonghui, et al. Research and application of redundant data processing scheme for smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(12): 150-154.
- [12] 周永忠, 叶鹏, 张治桥, 等. 智能变电站状态监测系统网络结构研究[J]. 电测与仪表, 2012, 49(11): 39-43.
ZHOU Yongzhong, YE Peng, ZHANG Zhiqiao, et al. Network structure research on condition monitoring system for smart substation[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2012, 49(11): 39-43.
- [13] 孙银山, 钟建英, 尹军华, 等. 一种新型的智能高压开关调试设备[J]. 高压电器, 2014, 50(3): 11-18.
SUN Yinshan, ZHONG Jianying, YIN Junhua, et al. Novel debugging equipment of smart high voltage switch[J]. High Voltage Apparatus, 2014, 50(3): 11-18.
- [14] 张青青, 韦良, 苏文博, 等. 基于 IEC 61850 报文模拟及分析技术的智能开关调测[J]. 高压电器, 2013, 49(10): 91-95, 101.

- ZHANG Qingqing, WEI Liang, SU Wenbo, et al. Integration test of smart high voltage switchgears using simulation and analysis techniques for IEC 61850 packets[J]. High Voltage Apparatus, 2013, 49(10): 91-95, 101.
- [15] 苗新, 张恺, 田世明, 等. 支撑智能电网的信息通信体系[J]. 电网技术, 2009, 33(17): 8-13.
MIAO Xin, ZHANG Kai, TIAN Shiming, et al. Information communication system supporting smart grid[J]. Power System Technology, 2009, 33(17): 8-13.
- [16] 刘井密, 李彦, 杨贵. 智能变电站过程层交换机延时测量方案设计[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(10): 111-115.
LIU Jingmi, LI Yan, YANG Gui. Design of delay measurement switch in intelligent substation process level[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(10): 111-115.
- [17] 陈德为, 庄煜祺, 黄航宇. 智能交流接触器三维动态测试与分析[J]. 电工技术学报, 2014, 29(11): 162-168.
CHEN Dewei, ZHUANG Yuqi, HUANG Hangyu. 3D dynamic testing and analysis of intelligent AC contactor[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(11): 162-168.
- [18] 杨毅, 高翔, 朱海兵, 等. 智能变电站 SCD 应用模型实例化研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(22): 107-113.
YANG Yi, GAO Xiang, ZHU Haibing, et al. Case study on SCD application based on demo smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(22): 107-113.
- [19] 潘建勇, 陈邦兴. 基于场景的测试用例设计方法研究[J]. 通信技术, 2011, 12(44): 77-80.
PAN Jianyong, CHEN Bangxing. Research on test cases of design method based on scenario[J]. Communications Technology, 2011, 12(44): 77-80.
- [20] 周飞, 杨根兴, 蔡立志. 基于 UML 的测试用例生成方法研究[J]. 计算机应用与软件, 2009, 26(2): 107-110.
ZHOU Fei, YANG Genxing, CAI Lizhi. On UML based test case generation[J]. Computer Applications and Software, 2009, 26(2): 107-110.
- [21] 李鹏, 李伟, 钱一民, 等. 配电自动化系统通用测试用例研究[J]. 湖北电力, 2015(4): 9-12.
LI Peng, LI Wei, QIAN Yimin, et al. Study on the universal test cases of distribution automation system[J]. Hubei Electric Power, 2015(4): 9-12.
- [22] 李宇飞, 王跃, 吴金龙, 等. 一种分布式发电并网变流器测试装置设计方案及实现[J]. 电工技术学报, 2015, 30(3): 115-122.
LI Yufei, WANG Yue, WU Jinlong, et al. Design and implementation of a distributed generation grid-connected converter testing device[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(3): 115-122.

收稿日期: 2016-02-03

作者简介:

路光辉(1968-), 男, 通信作者, 硕士, 高级工程师, 主要从事电力系统自动化、高压设备状态监测及故障诊断工作; E-mail: luguanghui318@163.com

周钟(1983-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事高压设备智能化和局部放电状态监测工作; E-mail: zhouzhong.xj@foxmail.com

雍明超(1984-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事高压设备状态监测与故障诊断工作。E-mail: ymc0112@163.com

(编辑 魏小丽)