

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.190518

# 基于信息融合的智能变电站继电保护设备自动测试系统

陈飞建<sup>1</sup>, 吕元双<sup>1</sup>, 樊国盛<sup>1</sup>, 胡定林<sup>1</sup>, 冷贵峰<sup>1</sup>, 张小波<sup>2</sup>

(1. 贵州电网有限责任公司兴义供电局, 贵州 兴义 562400; 2. 华中科技大学, 武汉 湖北 430074)

**摘要:** 为了体现智能变电站高度信息化的优势, 针对智能化继电保护装置, 研究了一套智能变电站继电保护设备自动测试系统。在测试过程中引入信息融合技术, 可实现自动更改测试参数、投退软压板以及写控制字, 自动获取二次设备的动作信息、判断二次设备响应的正确性并生成符合电力行业要求的综合测试报告, 构成完整的闭环测试。应用结果表明, 该自动测试系统优化了测试流程, 同时提供了新型的非人力所及的测试方法, 从而提高了测试的效率和准确度。

**关键词:** 智能变电站; 智能化继电保护; 自动化; 信息融合技术; 闭环测试

## Automatic test system of relay protection device for smart substation based on information fusion technology

CHEN Feijian<sup>1</sup>, LÜ Yuanshuang<sup>1</sup>, FAN Guosheng<sup>1</sup>, HU Dinglin<sup>1</sup>, LENG Guifeng<sup>1</sup>, ZHANG Xiaobo<sup>2</sup>

(1. Xingyi Power Supply Company, Guizhou Power Grid Co., Ltd., Xingyi 562400, China;

2. Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** In order to reflect the advantages of high informatization of smart substation, an automatic test system for relay protection equipment in smart substation is studied for intelligent relay protection device. Information fusion technology is introduced in the test process, which can automatically change test parameters, drop and retreat soft platen and write control words. And it can also automatically obtain the action information of secondary equipment, judge the correctness of secondary equipment response, and generate comprehensive test report meeting the requirements of the power industry, forming a complete closed-loop test. The application results show that the automatic test system optimizes the test process and provides a new test method that is not accessible to human, thus improving the test efficiency and accuracy.

This work is supported by Science and Technology Project of China Southern Power Grid Company "Research on MMS In-the-loop Automatic Test Mode and its Application in the Periodic Inspection Process of Relay Protection" (No. 06062002018030101BD00086).

**Key words:** smart substation; intelligent relay protection; automatic; information fusion technology; closed-loop test

## 0 引言

随着智能变电站<sup>[1]</sup>的发展, 促进了智能化继电保护装置的不断完善与更新。国内外相继研发并推出了适应智能变电站应用体系的智能化继电保护装置<sup>[2-5]</sup>。同时, 国家电网公司为推进智能化设备检测的发展, 规范了变电站内的智能化设备, 尤其是变电站内的继电保护装备, 出台了一系列的标准, 使

各个生产厂家在生产时使用同样的尺寸、通信协议、功能, 这样, 根据统一的标准进行生产设备, 就有助于智能变电站更加规范、标准、统一, 降低对智能变电站检测设备的要求。同时, 制定了 IEC61850 标准<sup>[6-9]</sup>, 智能变电站的数据通信方面也变得更加规范。上述措施均有效地增加了变电站内自动化测试平台的应用。

这些措施的应用在实际检测过程中仍需要反复进行通信配置以及测试项目和参数的修改, 需要投入很大的人力、物力才能完成, 无法实现自动化, 也未能体现智能变电站高度信息化的优势。同时, 由于人工操作速度和熟练程度的限制, 保护装置的

基金项目: 南方电网公司科技项目资助“MMS 在环自动测试模式研究及其在继电保护定期检验过程中的应用”(06062002018 030101BD00086)

测试需要耗费大量的时间才能完成, 在客观上造成了测试周期普遍较长, 测试的准确性下降等问题, 无法适应智能变电站高效、可靠投运以及日常运维检修的要求。

针对上述问题, 国内外学者做了大量的研究。唐志军等人<sup>[10]</sup>首先分析了继电保护装置应具备的功能, 设计了一种新的对智能变电站继电保护装置检测的方案。这种方案具有一键式检测的优点, 分别从软、硬件两方面进行测试系统的集成, 以降低测试过程中人力物力等资源浪费, 但由于系统中缺乏通用的测试模板, 因此预期效果并不明显。而郑三立<sup>[11]</sup>同样分别从软、硬件两方面集成测试系统, 同时该系统中采用可扩展标记语言(XML)的通用测试接口创建测试模型库, 从而实现不同保护装置的兼容, 具有较好的测试效果。由于在集成测试系统中仍需人为的操作来获取保护装置的相关信息, 所以仍未实现智能化的需求。

因此, 本文研究一套智能变电站继电保护设备自动测试系统, 基于智能变电站继电保护装置测试的实际特点, 引入信息融合技术, 可实现自动更改测试参数、投退软压板以及写控制字, 自动获取二次设备的动作信息、判断二次设备响应的正确性并生成符合电力行业要求的综合测试报告, 构成完整的闭环测试。该自动测试系统不仅能提高测试效率和测试准确度, 还能优化测试流程, 提供了新型的非人力所及的测试方法, 对智能变电站的推广应用具有十分重要的意义。

## 1 系统测试原理及过程

### 1.1 系统测试原理

本文设计的自动测试系统的工作原理<sup>[12]</sup>如图 1 所示。

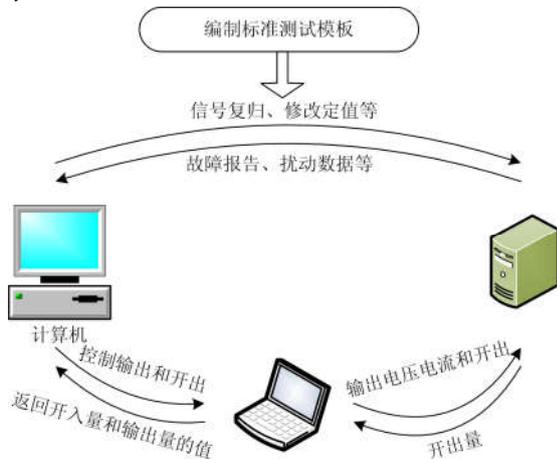


图 1 系统测试原理

Fig. 1 Principle of system testing

(1) 测试前, 首先应将测试软件与测试仪器进行连接, 保证通信正常, 这样就可以实时记录测试数据, 同时完成数据的传输和处理工作, 缩短测试的时间。

(2) 安装在 PC 上的测试系统可以对继电保护装置的整定值、投退压板等进行操作, 可减少工作人员的工作量, 同时通过编程实现对检测的数据进行处理分析并实现测试报告的自动生成。

### 1.2 系统总体构成

系统共由五部分构成, 分别为应用层、逻辑层、数据层、通信层以及物理层, 如图 2 所示。其中, 物理层由测试仪器、PC 机和保护装置构成; 通讯层由测试仪器通信接口和保护装置通信接口构成; 数据层包括原始记录、模板数据、报告数据、实验参数、规程信息等; 逻辑层共有五部分构成, 包括: 测试仪控制模块、保护通信控制模块、数据管理模块、保护检验规程处理模块以及测试报告生成模块; 应用层也有五部分构成, 分别为: 模型选择解析运行模块、测试计划编辑模块、调度控制模块、测试报告处理模块以及二次开发接口模块。

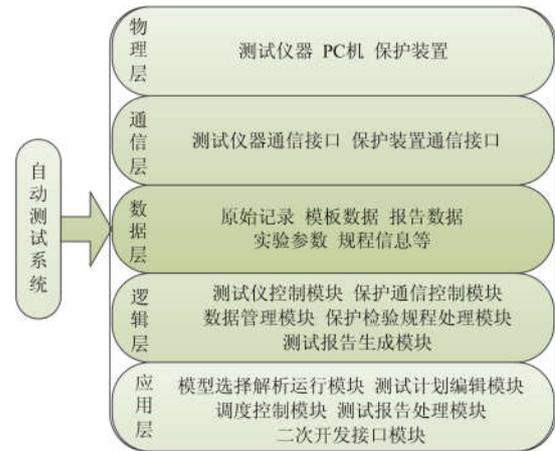


图 2 系统构成

Fig. 2 Structure of system

各层之间相互连接, 逻辑层的模块被应用层的进程调用, 其结果反馈给应用层或者存进数据层中。通信层根据物理层中的装置设置通信接口, 以便信息传递、互通。本节将对应用层进行重点概述。

### 1.3 系统应用层概述

系统的应用层是与用户进行直接交流的层面, 其设计的关键在于给用户提供服务, 达到简洁、美观、实用、便捷的特点, 同时功能的划分和界面显示上应合理布局, 注重人性化设计。本文设计的系统由五部分构成, 分别为模型选择解析运行模块、测试计划编辑模块、调度控制模块、测试报

告处理模块以及二次开发接口模块。

模型选择解析模块在测试系统中主要用于模型的选择和解析。测试计划编辑模块主要是用来对测试过程中可能用到的试验原理、试验方案和试验结果进行编辑,其采用了 XML 数据描述语言便于用户对测试计划进行保存。此外,对于测试过程中的数据用户也可在该模块中进行数据操作如拷贝、导出等。

调度控制模块主要对测试进程进行宏观上的调度和控制,完成对测试模式的选择、测试任务的建立、测试项目的构建等工作。同时该模块在测试项目选择方面应采用合适的树形结构图,为用户提供各个方面的测试内容。该模块中也设计了多种测试模式可供测试用户选择,如一键测试(测试过程中无论出现何种状况均不中断测试进程)、可中断测试(用户可在该模块自定义中断条件)、仅测所选项目、测试全部不合格项目和从所选项目向下测试等基本模式。当测试过程发生中断时,系统会出现告警画面及声音提示等功能。整个测试过程有测试状态监视界面,能够实时显示测试过程中的测量量、开入开出、时间等相关数据。

测试报告处理模块主要是对测试报告进行操作,具体是:完成全部测试任务后,该模块对运行前几个模块所获得测试报告进行修改、导出、保存等操作。在该模块中也有权限设定的功能,使得不同的测试报告只针对部分人开放,继而对测试内容进行保密。

此外,该系统还设置有二次开发接口模块,设置该模块的目的是:对于特殊用户,可使用 Luna 语言对该系统进行二次开发,实现对自动测试系统的编辑,这也体现了该系统扩展性强、灵活性强的特征。

## 2 信息融合技术在自动测试系统中的应用

### 2.1 信息融合原理

信息融合<sup>[13-15]</sup>是对同一事物的多种描述进行整合,整合后的信息相比单一信息具有高精度的估计与判决。对多源信息进行全方位的分析,获得最具该事物特征的子集。

信息融合具有数据层、特征层、决策层三个层次,可根据不同的应用背景相应地融合层次和算法。本文系统在测试过程中发生中断时,会出现告警和提示声,引入信息融合技术后,测试人员可根据警告声来区分导致测试中断、告警的原因。

### 2.2 信息融合的决策流程

根据信息融合的原理,设计了如下的 D-S 融合

流程。

1) 构建辨识框架  $\theta$ 。对于某一个目标,所构建的识别框架应该是描述该目标所有的可能结果的集合。本文的识别框架可以为采样值异常(A1)、开关量异常(A2)、动作异常(A3)以及不确定性  $\delta$  的集合,即  $\theta = \{A1, A2, A3, \delta\}$ 。

2) 设置基本概率分配 BPA(Base Probability Assignment)。对于识别框架,其基础概率分配  $m$  是从 2 到区间[0,1]的一个映射(即  $m$  为:  $2^\theta \rightarrow [0,1]$ ),它满足两个条件:①  $m(\phi) = 0$ ; ②  $\sum_{A \subseteq \theta} m(A) = 1$ 。

其中  $m(\cdot)$  为基本可信数,反映了框架  $\theta$  的可信度,且信任函数  $Bel(\cdot)$  与  $m(\cdot)$  之间满足:  $Bel(B) = \sum_{B \subseteq A} m(B)$ ,其中  $Bel(A)$  表示为  $A$  所有子集的 BPA 之和,其反映的是  $B(B \subseteq A)$  对  $A$  的支持力度。识别框架上的 BPA 计算方法为

$$m_i(A_j) = \alpha_i \times u_{ij} \quad i=1,2; \quad j=1,2,\dots,n \quad (1)$$

$$m_i(\delta) = 1 - \alpha_i \quad (2)$$

式中:  $m_i(A_j)$  为第  $i$  个证据对于第  $j$  个对象的 BPA;  $m_i(\delta)$  是第  $i$  个证据不确定性的 BPA 值;  $u_{ij}$  表示第  $i$  个证据对于输出为  $j$  类故障的隶属度;  $\alpha_i$  为第  $i$  个证据源的可靠性系数。

3) 证据合成。合成规则是 D-S 证据理论的核心,也称作证据融合公式,其计算方法为

$$m_{1,2}(A_j) = m_1(A_j) \oplus m_2(A_j) = \frac{\sum_{B \cap C = A_j} m_1(B) \times m_2(C)}{\sum_{B \cap C = \theta} m_1(B) \times m_2(C)} \quad j=1,2,\dots,n \quad (3)$$

式中:  $A_j = B \cap C$ ;  $B$ 、 $C$  是  $\theta$  的一个子集;  $\oplus$  表示异或运算。根据式(3)即可获得最终的辨识结果,该结果实现了对两类信息的合成。

4) 决策。

融合所得的 BPA 要满足以下三个规则。

规则 I:  $m(A_{\max 1}) = \max \{m(A_i), A_i \subset \theta\}$ ,

$m(A_{\max 1})$  为输出 BPA 的最大值。根据规则 I,利用融合两类信息后的 BPA 应具有最大的 BPA。

规则 II:  $m(A_{\max 1}) > m(\theta)$ , 规则 II 规定了融合两类信息后的 BPA 大于不确定性  $\theta$ 。

规则 III:  $m(A_{\max 1}) - m(A_{\max 2}) > \varepsilon$ , 规则 III 规定融合两类信息后的 BPA 必须具有相对较大的值才能被认可。其中  $m(A_{\max 2})$  为 BPA 的次大值,  $\varepsilon$  的取值应结合实际情况来选取。

## 2.3 信息融合的应用

传统的继电保护设备测试<sup>[16-19]</sup>通常逐项进行检测, 流程一般如下所示。

(1) 首先判断模拟量零漂及线性性能<sup>[16]</sup>是否良好, 进而判断采样值正常与否。若采样值正常, 则进行下一步操作, 反之, 则立即结束测试。

(2) 判断开关量<sup>[20-23]</sup>正常与否, 若开关量正常, 则进行下一步操作, 反之也应立即结束测试。

(3) 各个量检测正常后, 进行测试。发送 GOOSE 信号投入保护项目软压板, 通过 MMS 协议<sup>[24]</sup>加载保护定值。设置故障电压值分别进行测试。获取保护装置动作信息, 若其正确动作, 则根据测试列表的内容, 进行下一项操作, 若动作错误, 则立即告警并记录, 再进行下一项操作。

逐项测试的过程, 需对各个变量进行反复确认, 因此存在测试时间长、操作复杂等问题。而本系统在测试过程中引入了信息融合技术, 可自动完成测试, 并在测试过程中, 基于信息融合技术进行测试异常诊断, 其流程如图 3 所示。系统根据测试采样值、开关量以及动作信息等特点, 判断该测试故障为采样值异常、开关量异常或动作异常, 同时产生中断, 并出现告警画面及声音等提示。另外, 系统能够自动生成故障异常报告, 提供给测试人员, 使其有针对性地进行处理。

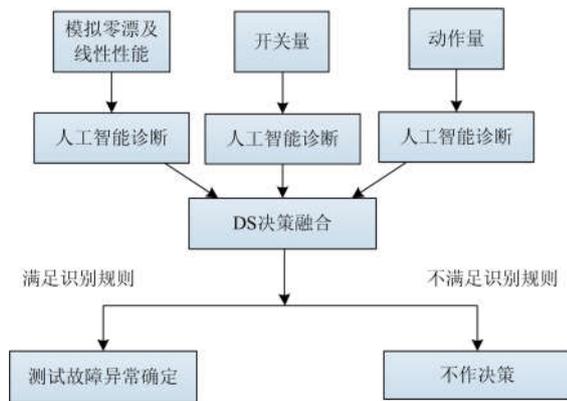


图 3 基于信息融合技术的测试异常诊断流程图

Fig. 3 Flow chart of test anomaly diagnosis based on information fusion technology

## 3 自动测试系统的应用

### 3.1 系统测试过程

测试过程:

(1) 最初, 由工作人员在系统中编制标准的测试方案模板。

(2) 测试过程中, 系统软件、测试仪器及保护装置互通。

(3) 系统软件控制测试仪器输出和开入, 同时测试仪器会返回开入量和输出量的值。

(4) 系统软件控制保护装置的信号复归、修改定值等功能, 保护装置会向系统软件传递故障报告、扰动等数据。

(5) 测试系统会向保护装置输出电压电流和开入, 保护装置为测试仪提供开入量。

### 3.2 测试报告可视化展示

继电保护自动测试系统不仅能实现测试过程的自动化、故障异常判断的智能化, 同时在与测试人员的信息交流方面, 可自动生成测试报告、设定使用权限等功能。

本系统还设计了多个版本的可视化测试报告, 不同的面向对象可根据自身需求, 查阅测试结果。例如对于现场的工作人员可以选择简单版测试报告, 该报告显示出了故障点、可能的故障原因, 提供方式可以是纸质版本, 也可通过通信端, 直接传输到手机或 PC 端, 有利于测试人员准确快速地分析测试结果, 对异常情况进行处理。对于未能现场解决的测试问题, 测试报告应上传至主站系统, 这份测试报告将比较详细地对测试结果进行分析, 并提供测试过程中的数据, 便于事故分析人员对事故做进一步的分析和处理。因此, 提供可视化的测试报告有助于减少工作人员的分析事故时间, 保障低事故发生率的前提下提高继电保护设备测试人员的工作效率, 具有一定的应用价值。

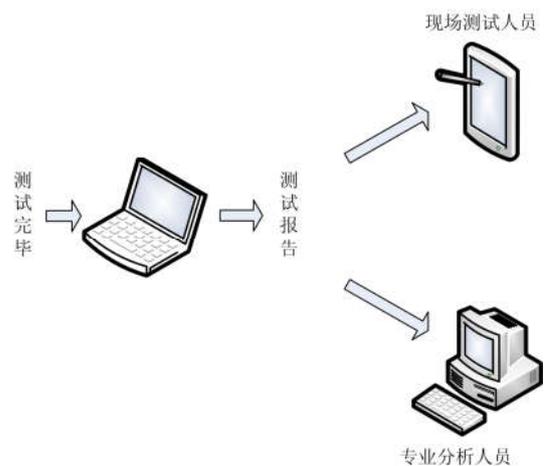


图 4 测试报告生成可视化界面

Fig. 4 Test report generation visual interface

### 3.3 系统应用

以 PCS-943 高压线路保护装置为例, 采用本文设计的自动测试系统, 依次完成纵联差动保护、距离保护、零序过电流保护等所有相关测试, 结果如表 1 所示。

表 1 测试报告  
Table 1 Test report

测试项目	预计结果	测试结果	确认结果
差动保护 I 段	$m$ 为 0.95 时保护不动作	可靠不动作	
故障电流为:	$m$ 为 1.05 时保护能动作	30.685 ms 动作	无异常
$I = m \times 0.5 \times I_{\max 1}$	$m$ 为 1.2 时动作时间校验	30.153 ms 动作	
差动保护 II 段	$m$ 为 0.95 时保护不动作	可靠不动作	
故障电流为:	$m$ 为 1.05 时保护能动作	80.965 ms 动作	无异常
$I = m \times 0.5 \times I_{\max 2}$	$m$ 为 1.2 时动作时间校验	80.235 ms 动作	
距离保护 I 段	$m$ 为 1.05 时保护不动作	可靠不动作	
故障电压为:	$m$ 为 0.95 时保护能动作	20.639 ms 动作	无异常
$U = m \times I \times Z_{ZD1}$	$m$ 为 0.8 时动作时间校验	20.118 ms 动作	
...	...	...	
零序电流保护 II 段	$m$ 为 0.95 时正向保护不动作	可靠不动作	
故障电流为:	$m$ 为 1.05 时正向保护动作时间校验	280.705 ms 动作	无异常
$I = m \times I_{0IzD}$	$m$ 为 1.2 时反向保护不动作	可靠不动作	

### 4 结论

针对现有的继电保护装置检测需要大量人力、测试时间长、准确性差等问题，本文研究了一套智能变电站继电保护设备自动测试系统。该系统分别从模块构成、测试诊断以及可视化界面三方面进行设计，在保证继电保护装置的相关测试有序进行的同时，实现了测试的自动化、智能化。在测试系统中引入信息融合技术，可自动更改测试参数、投退软压板以及写控制字，自动获取二次设备的动作信息、判断二次设备响应的正确性并生成符合电力行业要求的综合测试报告，构成完整的闭环测试。该自动测试系统不仅能提高测试效率和测试准确度，还能优化测试流程，提供了新型的非人力所及的测试方法，对智能变电站的推广应用具有十分重要的意义。

### 参考文献

[1] 王锡凡. 科学规划, 实现我国电力工业发展蓝图[J]. 中国电力, 2017, 50(1): 1-1.  
WANG Xifan. Scientific planning, the realization of China's power industry development blueprint[J]. Electric Power, 2017, 50 (1): 1-1.

[2] 浮明军, 刘昊昱, 董磊超. 智能变电站继电保护装置自动测试系统研究和应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015,43(1): 40-44.  
FU Mingjun, LIU Haoyu, DONG Leichao. Research and application of relay protection automatic test system for smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(1): 40-44.

[3] 薛晗光, 刘聪睿, 赵轩, 等. 智能电站工作票移动办理的设计与实现[J]. 热力发电, 2017, 46(12): 40-43, 67.

XUE Hanguang, LIU Congrui, ZHAO Xuan, et al. Design and implementation of smart power station work ticket mobile processing[J]. Thermal Power Generation, 2017, 46(12): 40-43, 67.

[4] 肖繁, 王紫薇, 张哲, 等. 基于状态监测的继电保护系统检修策略研究[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(6): 74-83.  
XIAO Fan, WANG Ziwei, ZHANG Zhe, et al. Study on maintenance strategy of relay protection system based on state monitoring[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(6): 74-83.

[5] 张海东, 陈爱林, 倪益民, 等. 智能变电站智能电子设备在线评估及动态重构[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(5): 122-126.  
ZHANG Haidong, CHEN Aimin, NI Yimin, et al. Intelligent substation intelligent electronic equipment online evaluation and dynamic reconstruction[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(5): 122-126.

[6] IECTC57. IEC 61850 communication networks and system in substation[S]. 2003.

[7] 王德文. 基于 IEC61850 和 MMS 的网络化电力远动通信的研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2009.  
WANG Dewen. Research on networked telecontrol communication based on IEC61850 and MMS[D]. Baoding: North China Electric Power University, 2009.

[8] 杨桂松, 牛志刚, 张浩. IEC61850 网关中典型抽象通信服务接口对象模型与 MMS 之间的映射方法[J]. 电网技术, 2007, 31(增刊 2): 248-251.  
YANG Guisong, NIU Zhigang, ZHANG Hao. Mapping method between typical abstract communication service interface object model and MMS in IEC61850 gateway[J]. Power System Technology, 2007, 31(S2): 248-251.

[9] 刘巍, 赵勇, 石光. 智能变电站继电保护装置一键式

- 测试方法及系统[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(2): 152-155.
- LIU Wei, ZHAO Yong, SHI Guang. One-key test system for relay protection equipment of smart substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(2): 152-155.
- [10] 唐志军, 林国栋, 朱维钧, 等. 智能变电站二次设备集成测试系统[J]. 华东电力, 2014, 42(12): 2516-2521.
- TANG Zhijun, LIN Guodong, ZHU Weijun, et al. Integration test system of smart substation secondary device[J]. East China Electric Power, 2014, 42(12): 2516-2521.
- [11] 郑三立, 范瑜, 黄梅, 等. 微机闭环测试继电保护装置的预仿真[J]. 电工技术学报, 2004, 19(5): 97-101.
- ZHENG Sanli, FAN Yu, HUANG Mei, et al. Pre-simulation of PC based closed-loop testing for protective relays[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2004, 19(5): 97-101.
- [12] 胡再超, 姚亮, 张尧. 智能继电保护装置的自动测试方法[J]. 江苏电机工程, 2013, 32(1): 53-55.
- HU Zaichao, YAO Liang, ZHANG Rao, et al. Automatic testing method of intelligent relay protection device[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2013, 32(1): 53-55.
- [13] 黄亮, 唐炬, 凌超, 等. 基于多特征信息融合技术的局部放电模式识别研究[J]. 高电压技术, 2015, 41(3): 947-955.
- HUANG Liang, TANG Ju, LING Chao, et al. Pattern recognition for partial discharge based on multi-feature fusion technology[J]. High Voltage Engineering, 2015, 41(3): 947-955.
- [14] 王润生. 信息融合[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [15] 李博, 高志远. 人工智能技术在智能电网中的应用分析和展望[J]. 中国电力, 2017, 50(12): 136-140.
- LI Bo, GAO Zhiyuan. Analysis and prospect of application of artificial intelligence technology in smart grid[J]. Electric Power, 2017, 50(12): 136-140.
- [16] 袁安富, 于海, 缪文贵, 等. 智能变电站 MMS 报文捕获分析的研究与实现[J]. 电测与仪表, 2013, 50(9): 74-78.
- YUAN Anfu, YU Hai, MIU Wengui, et al. Research and implementation on capturing and analyzing the MMS packet in smart substation[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2013, 50(9): 74-78.
- [17] 钱浩, 邢海青, 韩永强, 等. 一种继电保护自动测试方案实现方法[J]. 自动化仪表, 2015, 36(5): 71-74, 79.
- QIAN Hao, XING Haiqing, HAN Yongqiang, et al. Implementing method of the automatic testing scheme for relay protection[J]. Automation Instrumentation, 2015, 36(5): 71-74, 79.
- [18] 李先彬, 胡宝, 于士谦, 等. 继电保护自动测试用例设计关键技术及解决方案[J]. 电工技术, 2019(5): 116-118, 121.
- LI Xianbin, HU Bao, YU Shiqian, et al. Key technology and solutions of design of automatic test case of relay protection devices[J]. Electric Engineering, 2019(5): 116-118, 121.
- [19] 曹海欧, 高翔, 杨毅, 等. 基于全模型 SCD 二次系统在线监测及智能诊断应用分析[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(14): 136-141.
- CAO Haiou, GAO Xiang, YANG Yi, et al. Implementing method of the automatic testing scheme for relay protection[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(14): 136-141.
- [20] 熊华强, 万勇, 桂小智, 等. 智能变电站 SCD 文件可视化管理和分析决策系统的设计与实现[J]. 电力自动化设备, 2015, 35(5): 166-171.
- XIONG Huaqiang, WAN Yong, GUI Xiaozhi, et al. Design and implementation of intelligent substation SCD file visual management and analysis decision-making system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(5): 166-171.
- [21] 李忠安, 沈全荣, 王言国, 等. 电力系统智能装置自动化测试系统的设计[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(8): 77-79.
- LI Zhong'an, SHEN Quanrong, WANG Yanguo, et al. Automated testing system for IED[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(8): 77-79.
- [22] 张晓莉, 刘慧海, 李俊庆, 等. 智能变电站继电保护自动测试平台[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(18): 91-96.
- ZHANG Xiaoli, LIU Huihai, LI Junqing, et al. Intelligent substation relay protection automatic test platform[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(18): 91-96.
- [23] 陈泾生, 陈久林, 郑海雁, 等. 继电保护检验标准化作业专家系统的研发和应用实践[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(16): 108-111.
- CHEN Jingsheng, CHEN Jiulin, ZHENG Haiyan, et al. Research and development and application practice of expert system for relay protection inspection standardization[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(16): 108-111.
- [24] 刘大伟, 宋爽, 马泉. 基于云策略和 MMS 协议的智能变电站继电保护设备自动测试系统[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(12): 159-164.
- LIU Dawei, SONG Shuang, MA Quan. Automatic test system of intelligent substation relay protection equipment based on cloud policy and MMS protocol[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(12): 159-164.

收稿日期: 2019-05-09; 修回日期: 2019-07-30

作者简介:

陈飞建(1980—), 男, 高级工程师, 从事继电保护和全自动装置的运行、检修工作; E-mail: 532072448@qq.com

吕元双(1989—), 男, 助理工程师, 从事继电保护和全自动装置的运行、检修工作;

樊国盛(1986—), 男, 工程师, 从事继电保护和全自动装置的运行、检修工作。

(编辑 张爱琴)