

Research and Development of Visual Automatic Test System for Intelligent Substation

Qiang Wu¹, Daohong Lin¹, Xinshu Wan¹, Hongjun Zhou^{2*}, Zhong Chen³

¹Electric Power Research Institute of Hainan Power Grid Co., Ltd, Haikou Hainan

²PONOVO Power CO., LTD, Beijing

³Southeast University, Nanjing Jiangsu

Email: *zhohongjun@126.com

Received: Nov. 24th, 2017; accepted: Dec. 7th, 2017; published: Dec. 14th, 2017

Abstract

In order to reduce the difficulty of debugging, improve the debugging efficiency and the quality of projects, and shorten the time limit for debugging of the intelligent substation field, a visual automatic test system is proposed in this paper. This system adopts the design concept of modular interface standardization, and the test process is layered and classified to realize efficient closed loop automatic test. And then, aiming at that deep parsing for SCD files, the distributed layout of IED devices is integrated to display in the form of topological chart, the situation of virtual connections between devices is materialized to display, and the test progress and intelligent configuration are unified to manage. At last, when the system is testing, it is able to realize closed loop automatic test and reduce test difficulty. After the test is completed, standard format test reports are automatically formed, which greatly improves the efficiency and reliability of the work.

Keywords

Digital Substation, Visual Automatic Test System, Loop Automatic Test, Modular Interface Standardization, SCD Files

智能变电站可视化自动测试系统的研究与开发

吴 强¹, 林道鸿¹, 万信书¹, 周宏军^{2*}, 陈 中³

¹海南电网有限责任公司电力科学研究院, 海南 海口

²北京博电新力电气股份有限公司, 北京

³东南大学, 江苏 南京

Email: *zhohongjun@126.com

*通讯作者。

收稿日期：2017年11月24日；录用日期：2017年12月7日；发布日期：2017年12月14日

摘要

针对智能变电站现场调试难度大、调试效率低和黑箱化的问题，本文从测试角度出发提出了一套可视化自动测试系统。该系统采用模块接口标准化的设计思路，将测试过程分层分类，实现高效的闭环自动测试。针对SCD (Substation Configuration Description, 全站系统配置文件)文件进行深度解析，可以实现IED (Intelligent Electronic Device, 智能电子设备)装置的分散布局以拓扑结构图的形式一体化显示，将装置之间的虚拟连接情况具体化显示，统一管理测试进度和智能化配置。测试时能够实现闭环自动测试，降低测试难度，测试完成后能自动形成标准格式的测试报告，极大地提高了工作的效率和可靠性。

关键词

智能变电站，可视化自动测试系统，闭环自动测试，模块接口标准化，SCD文件

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

智能变电站以智能设备信息数字化采集、网络化通信以及标准化共享等功能为基础[1] [2] [3]，并遵循 IEC61850 标准进行设备建模。随着 SV/GOOSE 报文在装置中的应用，装置测试过程中除了常规的功能测试外，还需要增加模型文件一致性测试、虚端子测试、报文异常测试等，这大大增加了现场调试工作的难度和工作量[4] [5] [6]。目前针对智能变电站内保护测控类装置的常规功能测试已有部分厂家实现了自动测试，而对于现场整个测试过程的可视化自动测试还没有相关研究[7] [8] [9]。通过整站设备的可视化、测试任务的可视化，不仅提高了现场测试的效率和可靠性，更方便现场人员对整站测试任务的理解[10]。

本文主要对智能变电站可视化自动测试系统进行研究与开发，该系统采用可视化的设计思路[11]，实现了站内保护装置、测控装置、合并单元以及智能终端等装置的可视化展示，还增加了在可视化界面对各 IED 装置各项功能测试任务的自动调用，并增加了 IED 设备测试所需的测试仪配置、各测试任务测试模板的智能生成接口。对 SCD 文件进行深度解析，在各 IED 装置可视化展示的基础上，对各项测试功能进行分类，并针对不同类型的功能设计生成对应的自动测试方案。所开发的自动测试系统能够克服现场测试中测试项目抽象不易理解，测试工作效率低以及测试数据格式不统一等缺点，提高了测试的工作效率、降低人为干预以及规范了数据输出格式。

2. 全站系统配置文件解析

全站系统配置文件(substation configuration description, SCD), SCD 文件描述了智能变电站内一次系统结构、二次 IED 设备数据模型和各 IED 之间的逻辑关系，以及与其他变电站相关联的信息。SCD 文件的内容遵循 IEC61850 协议的标准，完整描述各 IED 之间的关系，它将智能变电站整合成为一个功能完善的变电站自动化系统[12]。

SCD 文件中包含了全站所有的虚拟回路信息和实际通信参数, 利用 SCD 文件对整站各 IED 装置的测试进程进行可视化。首先对 SCD 文件进行深入解析[13], 提取有用信息, 然后生成具备统一标准格式的概要信息文件以供整站测试时使用, 同时输出每个 IED 的设备模型信息及配置信息, 供后续测试时调用, SCD 文件解析示意图如图 1 所示。

2.1. SCD 文件的解析框架

SCD 文件各节点以树形层次结构组织起来, 完整的文件由 Header、Substation、Communication、IED、DataTypeTemplates 五大部分组成, 按照各部分功能构成分别对其进行解析, SCD 文件树结构图如图 2 示。

在 SCD 文件中一个 SV/GOOSE 报文的完整配置包括三个部分: 控制块参数(SampledValueControl, GSEControl)、通信参数(SMV, GSE)、数据集配置(DataSet)。通过比对 IED 的 name、访问点的 name、LD 的实例名 inst 和控制块的 name 找到与控制块匹配的 SMV/GSE; 通过比对控制块的 dataSet 属性和数据集 DataSet 的 name 找到与控制块匹配的 DataSet。

SV/GOOSE 的引用描述建立虚端子连线的过程如下: Inputs 节点下的任一外部引用, 根据该引用指定的 iedName、ldInst 可找到外部信号所在的 IED 和逻辑设备 LDevice, 遍历该 LDevice 下所有 DataSet

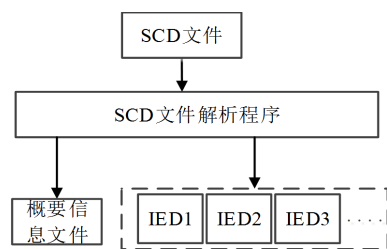


Figure 1. Sketch map of SCD file analysis
图 1. SCD 文件解析示意图

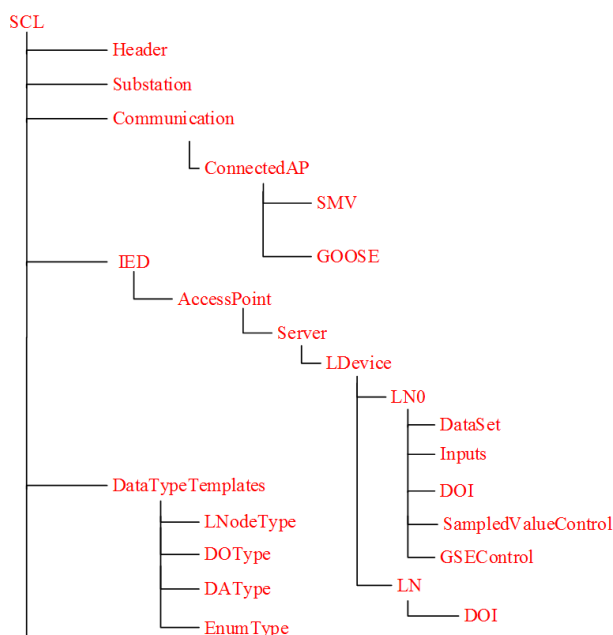


Figure 2. Tree structure diagram of SCD file
图 2. SCD 文件树形结构图

条目,通过比对 `IdInst`、`prefix`、`InClass`、`InInst`、`doName` 和 `daName` 可找到匹配的数据集条目。通过该外部引用条目订阅的外部 IED 下对应的 SV/GOOSE 控制块的对应数据集条目,建立虚端子连线。

2.2. SCD 文件的解析技术

采用制造报文规范(MMS)的 C 语言编程接口 MMSLite 的方式对 SCD 文件进行解析,生成整站 SCD 结构对象,提取可视化展示及功能测试过程中需要用到的有效的信息。提取功能设计如下:

1) 装置描述信息:将 IED 装置类型分为保护装置、测控装置、智能终端、合并单元等,根据 `name` 属性值自动识别出该装置的类型、电压等级、所属间隔等信息;通过对 `type`、`manufacturer`、`desc` 等属性的解析提取出该 IED 的装置型号、生产厂家、IED 名称等内容;

2) SV/GOOSE 连线信息:获取 LNO 节点下的 `SampledValueControl`、`GSEControl` 控制块,通过关联关系遍历查找对对应输出数据集,获取数据集中的所有数据信息形成本 IED 的 SV/GOOSE 输出控制块;获取 LNO 节点下的 `Inputs` 子节点,根据路径信息遍历整个 SCD 文件获取关联的 IED 装置下的 SV/GOOSE 控制块;

3) 报文参数信息:获取各 SV/GOOSE 控制块的 MAC 地址、APPID、所在 IED 名称、数据集名称、控制块索引、SV/GOOSE 标识、ASDU 数、采样率、最大允许生存时间等等参数信息,并与对应接收端控制块进行关联;

4) 设备数据模型信息:描述 IED 装置的逻辑设备、数据集的详细定义,以及各数据集的数据对象详细定义。包含了与测试相关的全部信息,模型信息主要用于与 IED 装置进行 MMS 通讯,获取相关定值、压板、报告等信息;

5) 物理端口信息:包括了各 IED 装置与站控层通讯的 IP 地址信息,各 SV/GOOSE 控制块输入或输出所用板卡号及光口号信息。

3. 智能变电站可视化设计方案

本文研究的智能变电站的可视化方案,特点在于对所有被测装置和装置测试任务的可视化管理。通过 SCD 文件解析的概要信息文件,直接绘制整个变电站结构;同时将 IED 装置的分散布局以拓扑结构图的形式一体化显示,将装置之间的虚拟连接情况具体化显示,统一管理测试进度,实现智能化配置,测试时能够实现闭环自动测试,降低测试难度,提高测试效率。

3.1. 整站 IED 装置的可视化技术

为了整站 IED 装置的测试工作变得更加直观和具体。整站可视化技术的目标主要包括以下几点:

1) 以标准格式图形模块展示各 IED 装置的基本信息(见图 3),包括:装置间隔描述的中文信息、全站唯一的 `name` 属性值信息、装置 IP 地址、SV/GOOSE 控制块连接接口等;

2) 直观显示每个变电站的拓扑结构及 SV/GOOSE 控制块的输入输出关系,图中绿色粗线表示 GOOSE 网,红色粗线表示 SV 网;装置通过 `GIN`、`SVIN` 接口接收 SV/GOOSE 网发出的报文,通过 `GOUT`、`SVOUT` 将报文发送给 SV/GOOSE 网;

3) 增加 IED 装置整个测试任务测试的进入接口,包括模型文件一致性测试、虚端子测试、保护测控功能测试、联锁测试等,以及测试报告导出的功能;

4) 记录不同智能变电站的当前测试进度。

用 TinyXML 解析工具解析输出的整站概要信息文件,采用列表视图、图形视图两种方式进行可视化展示。图 3 为图形视图界面,列表视图详细记录近期完成或未完成的各个变电站测试任务列表,能够新建测试任务、详细显示站内所有 IED 的测试信息,具体包括每一个 IED 设备的编号、名称、描述、生产厂家、设备型号、测试人、模型测试、虚端子测试、功能测试、下载任务时间以及上传报告时间和报告

位置等信息。图形视图显示各 IED 之间的拓扑关系结构图，并且提供进入各 IED 装置各测试项的进入接口，通过接口直接进入当前项目的测试，根据当前 IED 的提取信息自动完成测试项目模板的生成，进入测试执行程序完成测试过程，自动生成标准格式报告[14]。

3.2. 单装置 SV/GOOSE 输入输出可视化技术

单装置SV/GOOSE输入输出的可视化视图直接展示当前装置与站内其它二次设备直接的通讯联系信息，见图4，可视化实现过程如下：

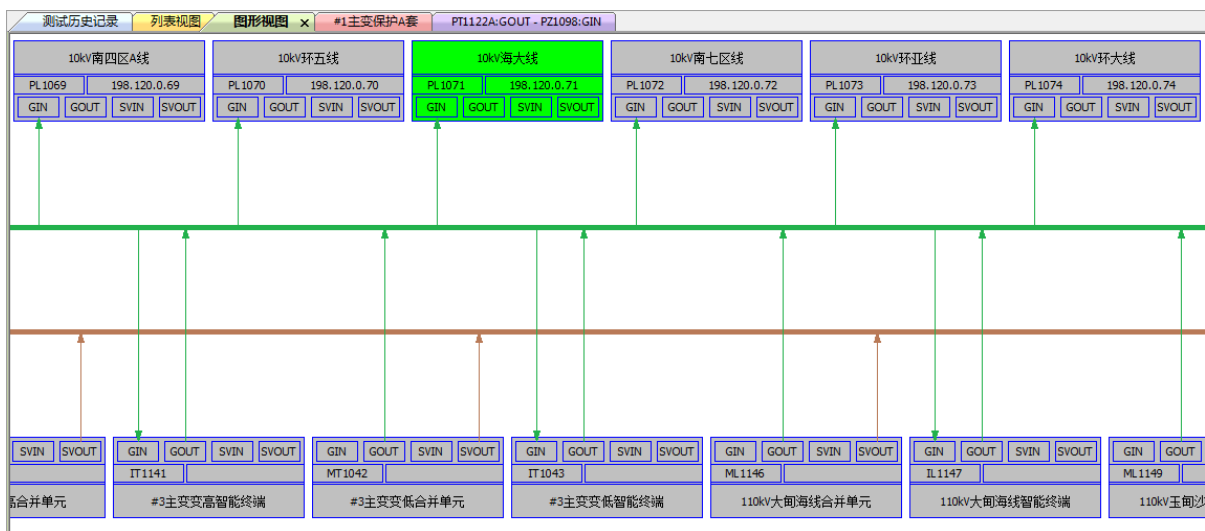


Figure 3. Substation IED visualized diagram

图 3. 可视化软件整站 IED 连线图

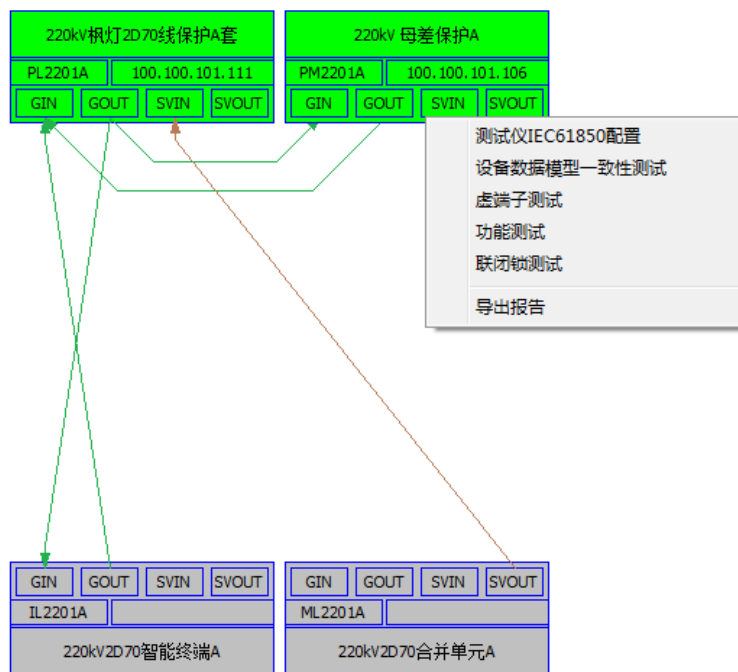


Figure 4. Single device visualized diagram

图 4. 可视化软件单装置连线图

- 1) 在概要信息文件中提取当前 IED 的所有 SVIN、SVOUT、GOOSEIN、GOOSEOUT 信息，找到与之关联的对侧装置；
- 2) 绘制具有连线关系的 IED 装置的图形视图，在概要文件中获取需要展示的描述信息；
- 3) 通过连线箭头展示 IED 装置间的输入输出关系，连线信息关联该控制块虚端子描述可视化展示的消息；
- 4) 各 IED 图形界面同样提供该装置各测试项的进入接口。

3.3. 虚端子连线信息可视化技术

根据控制块类型的不同可分为采样值控制块虚端子、GOOSE 控制块虚端子；两者关联的虚端子的数据类型不同，采样值控制块以电压值、电流值通道为主，采用整型；GOOSE 控制块以表示开关量及时间信息为主的布尔类型、双位置、UTCTime 类型。

虚端子连线可视化界面见图 5，具体流程设计如下：

- 1) 获取输出端的 SV/GOOSE 控制块信息，绘制其可视化视图，包括 IED 名称、控制块报文的 AppID、MAC 地址及控制块关联数据集下的所有通道名称和数据类型；
- 2) 获取输入端 Inputs 中的所有通道信息，绘制输入端可视化视图，包括 IED 名称、各通道名称及数据类型；
- 3) 将输入输出端通道中具有有效连线的通道进行连线，箭头明确方向关系。

4. 可视化自动测试系统的整体框架

可视化自动测试系统整体架构分别体现为硬件和软件设计两部分。

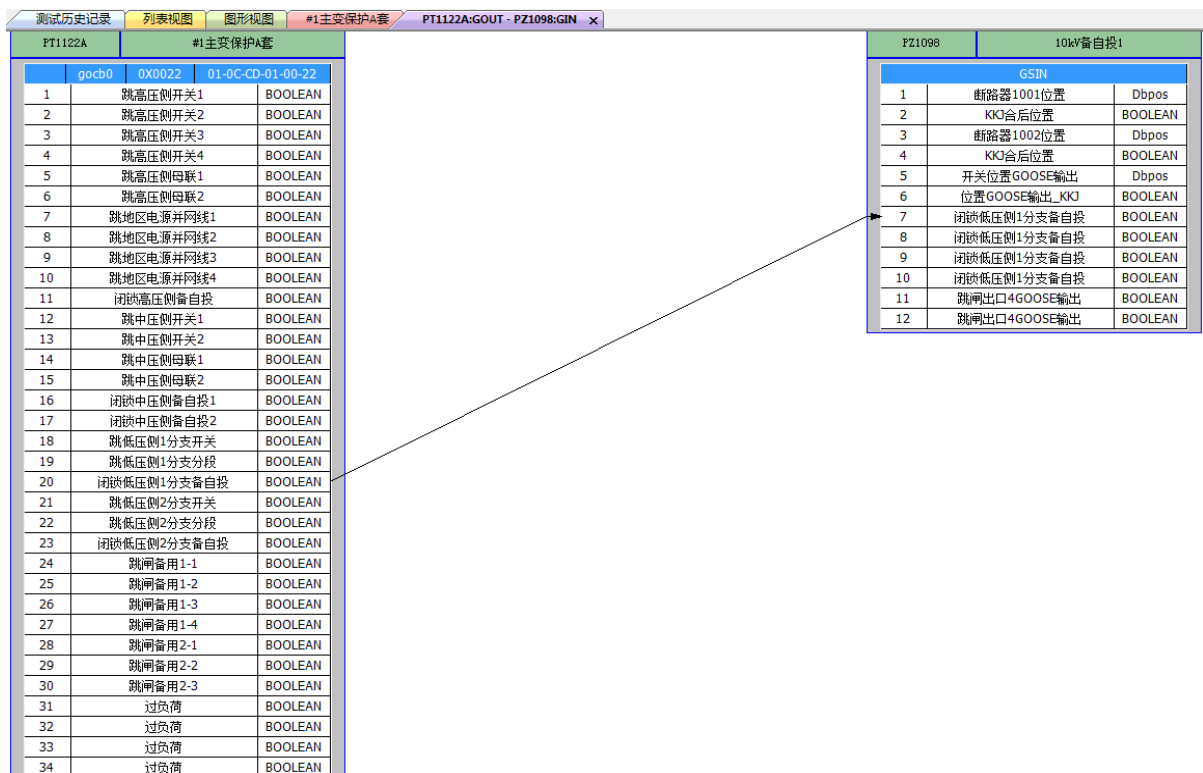


Figure 5. Virtual terminator visualized diagram
图 5. 可视化软件虚端子连线图

4.1. 自动测试系统的硬件架构

本测试系统硬件构成主要包括测试主机、交换机、数字测试仪以及 IED 装置[15]等, 硬件结构如图 6 所示。

由图 6 可知, 在测试主机上安装智能变电站可视化自动测试系统软件平台, 因此所有自动测试的控制均在测试主机上完成, 测试主机与测试仪、IED 装置经由交换机形成闭环测试的通讯链路, 数字测试仪和被测 IED 装置之间通过光纤连接, 其他回路通过电信号的网络线连接。

4.2. 可视化自动测试系统的软件架构

可视化自动测试软件系统是实现智能变电站可视化自动测试的核心组成部分, 软件系统在设计上充分考虑如下几点:

1) 在可视化的实现部分分别展示整站设备拓扑连线图、单装置相关连线图、SV/GOOSE 控制块虚端子连线图, 以列表方式展示整站各 IED 设备的测试任务及当前完成状态;

2) 能够根据从 SCD 中提取的概要信息文件自动生成全部或部分 IED 装置各测试项的测试模板, 以此保证测试效率;

3) 除 IED 装置功能测试项目的自动测试外, 增加装置设备数据模型一致性测试、虚端子测试、联闭锁测试的自动测试模板自动测试功能。

综合这三个方面的考虑, 软件系统结构设计如图 7 所示。

由图 7 可知, 图中 SCD 文件解析模块完成解析后将结果传递给 IED 装置模板和整站可视化及测试任务管理模块; 智能生成模块完成自动测试模板的生成, 整站可视化及测试任务管理模块分别以图形视图和列表视图的方式可视化展示整站设备的连线状态及测试状态; 在两种视图界面都提供测试任务的进入接口, 完成对测试仪配置智能生成模块、设备数据模型一致性测试模块、自动测试控制模块的调用。

自动测试控制模块加载 IED 装置的测试模板, 根据模板定义的测试流程完成各项功能的测试。测试时的功能设计如下:

1) 自动测试控制模块调用测试仪控制模块与数字测试仪通讯, 施加激励量给 IED 装置, 同时也可控制测试仪发布、订阅 GOOSE 报文;

2) 自动测试控制模块也能按照模板要求, 控制 61850 通讯模块完成与 IED 装置的通讯;

3) 根据测试仪的测试结果与 IED 装置的通讯结果, 综合判断测试是否合格, 并填写标准格式的测试报告。

5. 可视化测试实例分析

以海南海甸岛 110 kV 海甸变#1 主变保护 A 套现场单体调试为例, 具体涉及了装置设备数据模型一致性检查、虚端子检查、保护功能检查、联闭锁功能检查等。

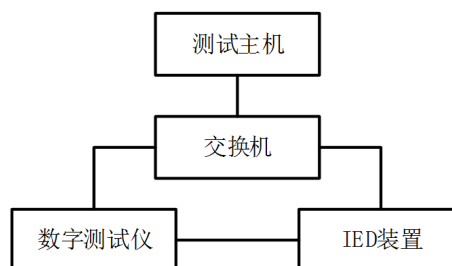


Figure 6. Hardware structure of visual automatic test platform

图 6. 可视化自动测试平台硬件结构图

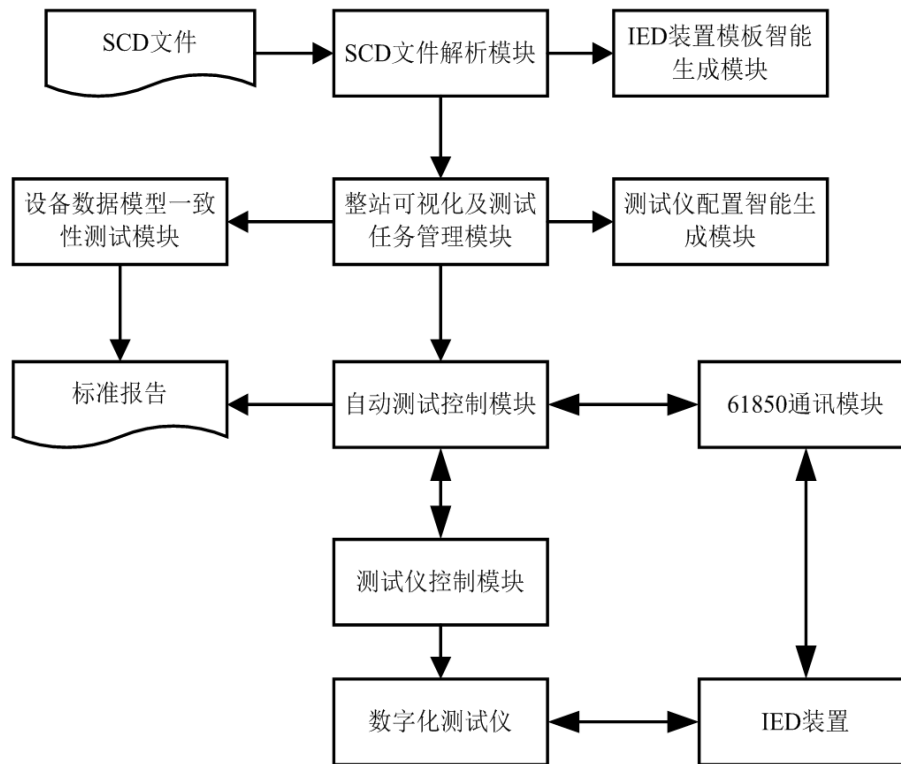


Figure 7. Software frame diagram of visual automatic test system
图 7. 可视化自动测试系统软件框架图

编号	IED名称	型号	IED标示	生产厂家	测试人	装置类型	IP地址	模型测试	测试仪配置	虚端子测试	功能测试	联锁测试	下载时间	上传时间
1	#1主变保护A套	PCS-978NA_00115656	PT1122A	南瑞继保		保护装置	198.120.0.22	未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
2	#1主变保护B套	PCS-978NA_00115656	PT1123B	南瑞继保		保护装置	198.120.0.23	未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
3	#1主变高合单元	PCS-221G-1	MT1124	南瑞继保		合单元		未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
4	#1主变高智能终端	PCS-222C-1	IT1125	南瑞继保		智能终端		未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
5	#1主变低合单元	PCS-221G-1	MT1026	南瑞继保		合单元		未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
6	#1主变低智能终端	PCS-222C-1	IT1027	南瑞继保		智能终端		未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
7	#1主变非电量保护及本体测控	PCS-222TU	PT1128	南瑞继保		保护测控装置	198.120.0.28	未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
8	#2主变保护A套	PCS-978NA_00115656	PT1130A	南瑞继保		保护装置	198.120.0.30	未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
9	#2主变保护B套	PCS-978NA_00115656	PT1131B	南瑞继保		保护装置	198.120.0.31	未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
10	#2主变高合单元	PCS-221G-1	MT1132	南瑞继保		合单元		未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
11	#2主变高智能终端	PCS-222C-1	IT1133	南瑞继保		智能终端		未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
12	#2主变低合单元	PCS-221G-1	MT1034	南瑞继保		合单元		未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
13	#2主变低智能终端	PCS-222C-1	IT1035	南瑞继保		智能终端		未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
14	#2主变非电量保护及本体测控	PCS-222TU	PT1136	南瑞继保		保护测控装置	198.120.0.36	未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
15	#3主变保护A套	PCS-978NA_00115656	PT1138A	南瑞继保		保护装置	198.120.0.38	未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
16	#3主变保护B套	PCS-978NA_00115656	PT1139B	南瑞继保		保护装置	198.120.0.39	未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
17	#3主变高合单元	PCS-221G-1	MT1140	南瑞继保		合单元		未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
18	#3主变高智能终端	PCS-222C-1	IT1141	南瑞继保		智能终端		未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
19	#3主变低合单元	PCS-221G-1	MT1042	南瑞继保		合单元		未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
20	#3主变低智能终端	PCS-222C-1	IT1043	南瑞继保		智能终端		未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
21	#3主变非电量保护及本体测控	PCS-222TU	PT1144	南瑞继保		保护测控装置	198.120.0.44	未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
22	110kV大朗海线合单元	PCS-221G-1	ML1146	南瑞继保		合单元		未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
23	110kV大朗海线智能终端	PCS-222C-1	IL1147	南瑞继保		智能终端		未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
24	110kV玉蜀沙线合单元	PCS-221G-1	ML1149	南瑞继保		合单元		未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
25	110kV玉蜀沙线智能终端	PCS-222C-1	IL1150	南瑞继保		智能终端		未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
26	110kV I 母合单元及智能终端	PCS-221N-1	MM1152	NRR		合单元		未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
27	110kV II 母合单元及智能终端	PCS-221N-1	MM1153	NRR		合单元		未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
28	110kV分段保护	PCS-923N1M	PB1156	南瑞继保		保护装置	198.120.0.56	未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
29	110kV分段合单元	PCS-221G-1	MB1157	南瑞继保		合单元		未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
30	110kV分段智能终端	PCS-222C-1	IB1158	南瑞继保		智能终端		未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
31	10kV 1012分段	PCS9651	SZ1092	南瑞继保		保护装置	198.120.0.92	未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
32	10kV 1023分段	PCS9651	SZ1093	南瑞继保		保护装置	198.120.0.93	未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
33	频率电压紧急控制装置	PCS-994A-ETB_121561	QQ1194	南瑞继保		保护测控装置	198.120.0.94	未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
34	110kV备自投	PCS9651	PZ1196	南瑞继保		保护装置	198.120.0.96	未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
35	110kV母线保护	PCS-915_121203	PM1197	南瑞继保		保护装置	198.120.0.97	未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		
36	10kV备自投1	PCS-9651DA-D_00409344	PZ1098	南瑞继保		保护测控装置	198.120.0.98	未测试	未配置	未测试	未测试	未测试		

Figure 8. Haidian substation visualized list view
图 8. 海甸变可视化软件列表视图界面

调试准备阶段, 需要根据电压等级和装置类型选择相关的国标、行标和企标, 以此为依据完成调试方案的确定。根据方案要求, 修改确认基础模板库、子模板库中对测试结果脚本绝对误差、相对误差的判断要求, 一般除标准修订或特殊应用场合, 此处确认即可, 不需要修改。通过可视化自动测试系统软件智能生成测试仪配置文件、以及各测试功能的模板, 可视化列表视图界面见图 8, 展示了站内各类保护装置、测控装置、合并单元、智能终端的装置信息及测试状态, 软件通过鼠标双击消息响应函数自动调用对应设备的模型测试、虚端子测试、功能测试、联闭锁测试等界面; 通过鼠标右击消息响应函数调用导出测试任务的测试报告、下载测试模板等。

实际现场调试阶段, 只需搭好测试物理环境, 保证测试主机与测试仪及相关 IED 装置的链路通讯正确、畅通, 然后在上图界面调用对应测试任务, 即可开始对应测试任务, 测试过程中测试任务表格会显示“测试中”, 测试完成后会自动更新为“测试完成”。

测试完成后, 会根据装置类型和名称生成各测试任务的标准测试报告, 报告名称中包含测试日期等信息, 完成对测试历史报告的统一存放管理。

通过现场应用反馈显示, 熟悉常规变电站现场测试流程的人员基本可以直接使用本可视化软件系统进行智能变电站的测试; 相对于传统的手动测试的方式, 自动测试的方式在保证测试可靠性的基础上将测试时间缩短到以前的 1/3, 极大的提高了现场测试的效率。

6. 结论

本文针对智能变电站可视化自动测试领域的问题进行分析与研究, 跳出了智能变电站内各 IED 装置孤立测试的常规思路, 提出了一套智能变电站可视化自动测试系统。首次提出可视化自动测试的思路, 将站内各 IED 装置的测试任务进行可视化管理, 实时记录各装置的测试状态, 随时导出测试完成装置的测试报告, 降低了智能变电站的测试难度, 大大提高了测试效率。智能变电站可视化自动测试系统必然会成为站内各 IED 装置测试领域的发展趋势。

参考文献 (References)

- [1] 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(18): 91-96.
- [2] 61850-9-3-2016-IEC/IEEE Draft International Standard—Communication Networks and Systems for Power Utility Automation Part 9-3: Precision Time Protocol Profile for Power Utility Automation, 2016.
- [3] 徐强超, 邹三红, 邝国安, 等. 智能变电站二次系统级测试平台研发[J]. 广东电力, 2017, 30(3): 81-86.
- [4] 李永亮, 李刚. IEC61850 第 2 版简介及其在智能电网中的应用展望[J]. 电网技术, 2010, 34(4): 11-16.
- [5] 窦晓波, 吴在军, 胡敏强. IEC 61850 标准下合并单元的信息模型与映射实现[J]. 电网技术, 2006, 30(2): 80-86.
- [6] 董磊超, 刘昊昱, 浮明军, 等. 智能变电站间隔层设备自动测试系统研制[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(5): 147-151.
- [7] 张沛超, 高翔. 数字化变电站系统结构[J]. 电网技术, 2006, 30(24): 73-77.
- [8] 应站煌, 胡建斌, 赵瑞东, 等. 继电保护装置自动测试系统研究和设计[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(17): 142-146.
- [9] 李诗华. 500 kV 变电站站间防误闭锁的研究[J]. 电气技术, 2014, 15(4): 50-53.
- [10] 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.
- [11] 刘永钢, 熊慕文, 尹凯, 等. 智能变电站双测控方案优化设计[J]. 电气技术, 2016, 17(1): 97-100.
- [12] 高翔, 张沛超. 数字化变电站的主要特征和关键技术[J]. 电网技术, 2006, 30(23): 67-71.
- [13] 李铁成, 郜向军, 郝晓光, 等. 数字化保护装置测试方法的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(3): 119-121.
- [14] 赖擎, 华建卫, 吕云, 等. 通用继电保护自动测试系统软件的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(3): 90-94.
- [15] 蔡宇, 林今, 宋永华, 等. 基于模型预测控制的主动配电网电压控制[J]. 电工技术学报, 2015, 30(23): 42-49.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2333-5394，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：jee@hanspub.org