

一种高压母线保护静模自动测试方案

于 哲, 李忠安, 李兴建, 王言国, 沈全荣
(南京南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211102)

摘 要:针对母线保护测试存在关联 IO 接口数量多、不同支路运行方式排列组合多、测试设计复杂、耗时长、测试方案容易遗漏等问题,介绍了一个已经投入实际使用的高压母线保护自动测试方案。该方案是以电力系统智能装置自动化测试系统 TestCenter 为平台,采用 Python 语言开发完成的。可以根据设定的测试目标自动生成测试用例,进行闭环智能判断。该方案兼容常规站和数字化站的测试,支持对 IEC 61850、IEC 103 等通信规约动作信号的验证。目前在 PCS-915 系列母线保护的测试过程中,可以不经人工干预地完成不同接线方式下母线保护的静模自动测试。

关键词:母线保护;静模测试;自动测试

中图分类号: TM744

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2015)03-0037-04

基于分布式自动测试^[1-3]的思路,南瑞继保开发了针对继电保护等智能装置进行全面、闭环测试的自动化测试系统^[4]。随着微机保护的大规模使用、保护测控一体化装置向高电压等级的发展、数字化智能变电站的应用推广、以及未来的智能电网的建设,继电保护的测试已经不仅仅注重于功能的测试。对继电保护产品的可靠性研究^[5],以及对继电保护型式试验项目的完备性研究也纷纷展开^[6]。继电保护装置逐步走向平台化、模块化发展趋势,便于根据实际工程需要实现多版本、小批量、多批次的升级和维护,但同时带来回归测试工作量的增大。为了在有限的人力、时间资源下,达到测试的范围和力度,必须进行自动测试的研究。母线保护具有涉及间隔数量多、运行方式组合多、需要兼容多种主接线、不同地区对间隔定义差异大等特点,测试工时长、测试环境复杂,尤其需要自动测试来保证测试的覆盖率。文中介绍的测试方案以南瑞继保自动测试平台为基础,通过 python 语言开发,实现了对 PCS-915 系列高压母线保护的自动测试。在开发过程中,统一考虑了母线保护不同主接线方式的共性、常规变电站和数字化变电站在测试中的异同、不同地区对母线保护配置和定值的差异,可以支持常规/智能变电站母线保护的自动闭环测试。由于该系统的模拟量输出使用了小信号的方式,常规保护的测试仪支持南瑞继保的母线保护;智能站则采用标准 IEC 61850 站控层和过程层协议,可以支持不同厂家的保护装置。

1 母线保护静模测试方案整体概述

1.1 电力系统智能装置自动化测试平台

自动测试软件的实现是基于南瑞继保自行开发的电力系统智能装置自动化测试平台 TestCenter。TestCenter 是一种开放式的测试平台,主要为电力二次设备的测试提供传统模拟量输出、数字化模拟量输

出、开关量输出和输入、Goose 输入和输出、IEC 61850 规约、IEC 103 规约等测试模块。

如图 1 所示,测试平台分为 2 个部分:可扩展的功能测试从机模块,以及自动测试脚本支撑平台。

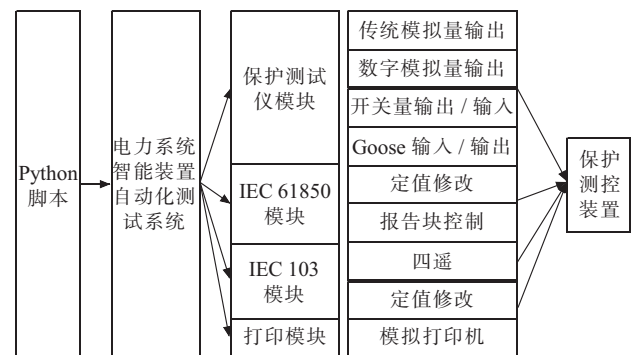


图 1 电力系统智能装置自动化测试系统模型

功能测试从机模块主要有保护测试仪、各种规约的通信模块。保护测试仪采用南瑞继保自行开发的 HELP-9000 系列保护测试仪,该测试仪有以下优势:(1)可以同时支持常规采样和数字化采样的保护测试,并可根据需要扩展模拟量输出的个数,满足多间隔同时测试的需求;(2)开关量输入输出可扩展,最多支持 640 路开关量输出,或者 480 路开关量输入。规约通信模块可以进行装置定值修改、搜集故障和变位信息、采集装置实时状态、收集故障报告等。

自动测试脚本支撑平台,支持 Python 语言开发测试脚本,对各种功能测试从机模块如保护测试仪、ICE 61850 规约模块、IEC 103 规约模块等进行灵活调用。完成测试初始化、外加故障序列并且搜集测试反馈进行智能判断。

1.2 母线保护测试的脚本架构

自动测试平台提供了硬件和通信接口,在此基础上设计软件脚本架构,使得对不同类型的母线保护自动测试具备形成测试用例、智能判断结果的功能。

高压母线保护的静模自动测试脚本部分,采用分

层化和模块化的设计。在接口定义方面,统一定义兼容常规站和智能站的基本输入输出数据结构;对现场运行方式进行统一建模,适用于不同母线主接线;统一对保护定值参数进行数据类型和数据传递的设计,方便进行定值增减。在功能实现方面,开发了兼容常规站和智能站的模拟量和开关量的输入输出函数;依据测试内容开发了基于母线物理模型的测试模块;同时根据现有用户的不同要求,开发了定值参数和测试模块的接口模板。脚本结构和基本原理如下:

(1) 保护测控通用数据结构。基于模块化的设计思路,必须对保护测控装置使用的基本数据结构进行统一定义和封装。主要包括模拟量、开关量、装置参数和保护定值的结构定义等。模拟量的结构除了基本的幅值相位等信息,还定义了兼容数字量和常规量的通道信息。开关量的定义主要考虑了开入开出的统一模型,包含常规和 goose 的通道信息以及变位记录。装置参数和定值的定义同时考虑了 IEC 103 规约和 IEC 61850 规约对定值的不同处理方式。

(2) 母线运行方式的自动生成。根据母线的接线方式,可以遍历/随机生成母线的运行方式。目前支持的母线运行方式包括母联分列、母线互联、母联旁路、支路的刀闸位置随机分布、支路刀闸双跨、支路无刀闸等多种情况。上述运行方式既可以单独测试,也可以相互转换。此外还可以进行 TA 异常、TV 异常等非正常工况的测试。

(3) 静态单功能测试模块。根据母线保护涵盖的不同保护元件,分别开发了单功能模块。差动保护的测试模块主要覆盖差动曲线测试、动作时间测试、电压闭锁测试、支路跳闸测试、差流异常测试、保护投入/退出/闭锁等功能点的测试。断路器失灵保护主要覆盖了相电流过流精度、负序电流精度、零序电流精度、动作时间测试、电压闭锁测试、支路跳闸测试、保护投入/退出/闭锁等功能点的测试。另外对死区保护、母联过流、母联失灵等保护,也开发了相应的测试模块。

(4) 基于状态转换的测试模块。为了将保护功能测试信息,转化成保护测试仪的实际输出,以及反馈的判别依据,开发了基于状态的测试模块。在状态序列中,根据单功能模块的设定,将不同的测试目的和要求转化为保护装置的实际输入。该模块考虑了常规变电站和智能变电站 IO 接口的不同。

(5) 闭环反馈校验模块。根据单功能测试模块中保护定值、设定的故障状态、母线运行方式等信息,预先分析出保护的元件、跳闸出口、信号出口、通信事件等信息。当完成对保护施加的测试数据序列后,通过测试装置搜集保护的各类出口,通过通信模块搜集保护动作的通信事件,并将搜集到的数据和理论的输

出结果进行比较,识别出保护动作返回精度、时间精度、出口保持时间、出口动作是否正确等测试数据。

母线保护测试系统运行架构如图 2 所示。

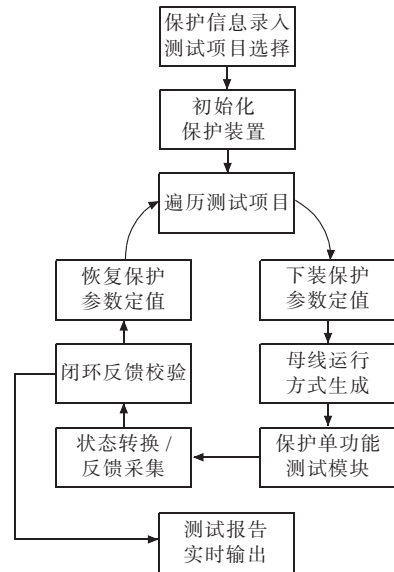


图 2 母线保护测试系统运行架构

2 母线保护测试的通用数据模型

母线保护测试系统支持单母、单母分段、双母单分段、双母双分段、3/2 接线等多种接线方式。每种接线方式中,母联、分段开关、支路刀闸位置均影响保护动作特性以及出口状况。为了和保护装置的描述统一,以支路序号、母线序号为基本对象。母线、支路均以 python 语言中的列表(List)表示。母线和支路之间以刀闸为关联。保护测试仪和 PCS-915 系列装置的 IO 接线采用统一方案,刀闸位置、支路跳闸出口、支路模拟量通道、母线跳闸出口的位置可以自动生成。

2.1 母线保护 IO 接口的数据模型

IO 接口主要考虑了二次设备的通道描述、电压模拟量、电流模拟量、开关量输入、开关量输出等主要信息。模拟量的数据结构包含通道位置、幅值、角度、频率等信息,以及幅值和频率的变化率,同时为了满足智能站和常规站通用的要求,增加了 TA 和 TV 变比、通道标志位等信息。开关量输入包含了通道描述、开关量的通道位置、动作时间、返回时间的信息,还包括了智能站双位置等数据结构。保护开关量输出的数据结构增加了相对动作时间的计算功能,便于校核保护动作的时间特性。

2.2 保护定值的结构模型

保护定值的数据结构,主要用于修改保护的参数、定值、控制字以及软压板。为了不同装置软件版本的通用性,定值的数据描述除了支持 IEC 61850 中的引用名和 IEC 103 规约的组号条目号外,还支持按照定值的中文描述检索。定值接口包括定值描述、定值

的数据类型、定值最大值和最小值、定值步长等等。可以满足通过 IEC 61850 规约或者网络 IEC 103 规约对装置的定值进行修改和校验。

2.3 母线拓扑模型表示

母线拓扑模型包含母线、线路支路、变压器支路、母联支路以及分段支路等间隔模型。不同间隔模型使用相同的 IO 接口模型以及定值模型,保证间隔模型在进行拓扑分析时的兼容性。母线间隔模型包含母线描述、TV 信息、刀闸列表以及出口信息。线路和变压器支路的间隔模型,包括自身描述、刀闸信息、TA 信息、出口信息以及支路类型。母联和分段支路间隔模型,在线路变压器结构的基础上,增加开关位置的相关信息。

图 3 为拓扑模型描述,该模型支持选择不同的母线类型后,自动生成母联和分段的开关刀闸位置,以及支路随机/指定在不同母线上的分布。同时可以支持设置母线初始状态是否有压、支路初始状态是由有流等信息。可以实现查找支路连接的母线,查找母线当前连接的支路列表等辅助功能。

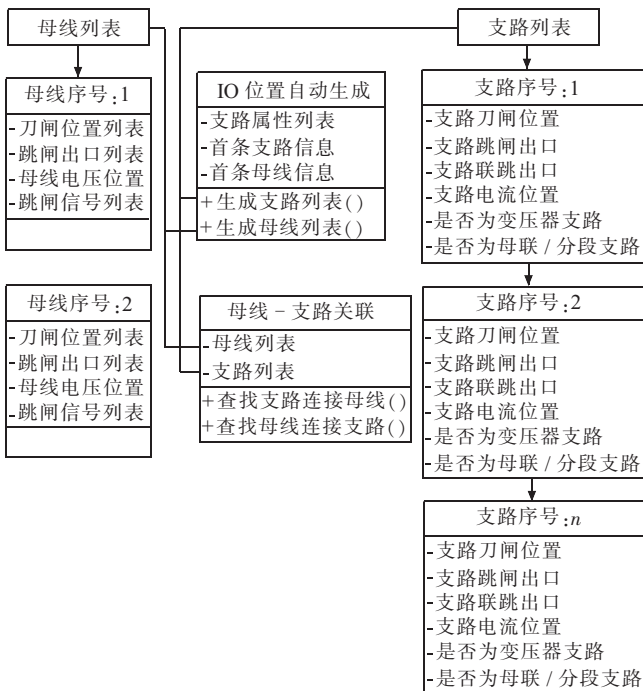


图 3 母线拓扑模型的数据结构

3 母线保护测试功能模块

3.1 单功能测试模块

单功能模块按不同保护原理,根据母线拓扑模型作为输入,进行各项静态测试。支持母线差动保护、断路器失灵保护、母联保护、死区保护等功能测试模块。

单功能模块输入主要有两部分:第一部分是当前运行方式,来自于母线拓扑模型的输出,包括:(1) 母线正常、分列运行、互联运行等状态;(2) 各个支路的刀闸位置、开关位置;(3) 母线是否有压、支路是否有

流等信息。第二部分是测试项目,包括元件测量精度测试、动作时间测试、闭锁条件测试等等。

单功能测试模块的输出有三部分:第一部分是保护定值、装置参数、以及相关的软压板。第二部分是提供一组状态序列,目前可以支持不少于 6 个初始或者故障状态,包括:(1) 描述不同状态下母线和支路的模拟量信息,包含幅值、相位、频率、幅值变化率、频率变化率等;(2) 描述不同状态下母线和支路的刀闸、开关、失灵节点等开关量的变位情况和变位时间。第三部分是校验准则,用于故障序列后的反馈校验,包括确定:(1) 母线和支路的各种出口是否跳闸、跳闸理论时间;(2) 母线和支路电压或者电流模拟量变化率和动作理论值,用于结合实际跳闸时间计算精度和误差;(3) 需要监视的通信报文的动作情况。

3.2 状态转换和反馈模块

状态转换模块的主要功能,是根据单功能测试模块提供的状态序列,转换成 HELP-9000 等保护测试仪的接口数据。由于不同测试仪存在不同的通信协议,状态转换模块将基于间隔的通用状态序列,转换成不同测试仪的专用协议,从而将测试用例的开发和具体执行解耦。该模块同时支持常规站和智能站的输出,可以同时输出传统模拟量、IEC61850.9-2 以及 IEC 60044-8 等多种模拟量数据;也可以支持常规开关量和 Goose 开关量的同时输出。测试执行前通过 IEC 103 或者 IEC 61850 下载装置定值。

反馈模块在状态序列输出期间,收集保护测试仪和被测装置的反馈信息。该模块搜集保护测试仪的常规开关量和 Goose 开关量的变化状态,并记录变化的绝对时间,计算变位的相对时间。同时搜集装置 IEC 61850、IEC 103 等通信规约的变位报告;也可以根据需要主动召唤被测装置的模拟量采集信息。不同的变位信息统一存储于反馈模块的数据结构中,支持根据通道位置查询开关量的变位、状态、动作时间等信息。

3.3 闭环校验模块

闭环校验模块根据单功能测试模块提供的校验准则,以及反馈模块提供的反馈信息,逐一校验母线和支路的各种动作信息,计算实际误差并判断是否超过误差范围,最后将测试结果按照预先设定的格式输出。如果校验测试不通过,则保存当前信息用于事后分析,搜集的当前信息包括保护定值、状态序列信息、反馈信息、召唤的装置最新波形等。

测试输出的基本内容如下所示:

支路列表{

支路名称;

出口列表{

出口接点名称;理论动作时间;实际动作时

```

    间;出口保持时间;动作时间误差}
    动作信息{
        理论是否动作;实际是否动作;最大相电
        流理论值;最大相电流实际值;负序
        电流理论值;负序电流实际值;零序电
        流理论值;零序电流实际值……}
    }
    母线列表{
        母线名称;
        出口列表{
            出口接点名称;理论动作时间;实际动
            作时间;出口保持时间;动作时间误差}
        动作信息{
            理论是否动作;实际是否动作;差流理
            论值;差流实际值;低电压理论值;低
            电压实际值;负序电压理论值;负序
            电压实际值……}
        }
    }
  
```

根据测试模块的不同,上述输出信息会根据测试模块的要求增减,以便在测试不通过的时候迅速定位缺陷原因。

各功能模块之间的关系如图 4 所示。

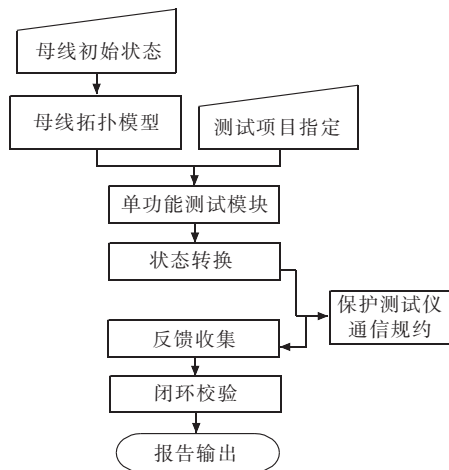


图 4 功能模块联系

4 结束语

该系统已经应用在 PCS-915 系列母线保护研发流程中。不仅可适用于最终的系统测试,而且在保护装置的开发和优化过程中,可以不断进行回归测试,从源头保证微机保护的产品质量。利用开发过程中前期的测试数据,通过统计理论分析,预估研发的进度和质量,提前对质量风险采取措施。不同型号的母线保护测试时,移植时间可以控制在半个工作日,测试执行时间长达 70 h 以上,可以比较充分的遍历静模功能测试。该体系已在南瑞继保研发中心实施,其统计数据亦已在 CMMI5 的过程体系中使用。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 李先妹,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,2012,40(3):105-108
- [3] 李晓朋,赵成功,李 刚,等.基于 IEC61850 的数字化继电保护 GOOSE 功能测试[J].继电器,2008,36(7):59-61.
- [4] 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,(8):77-80.
- [5] 曾克娥.电力系统继电保护装置运行可靠性指标探讨[J].电网技术,2004,28(14):83-85.
- [6] 姚致清.继电保护测试发展方向的思考[J].继电器,2008,36(11):79-78.

作者简介:

- 于 哲(1978),男,山西运城人,工程师,从事电力系统继电保护和自动控制装置的检测工作;
- 李忠安(1975),男,湖北孝感人,工程师,从事电力系统继电保护和综合自动化的自动测试开发工作;
- 李兴建(1977),男,山东潍坊人,高级工程师,从事继电保护、稳控装置测试仪开发工作;
- 王言国(1977),男,江苏徐州人,工程师,从事电力系统大型应用软件开发、管理、软件过程改进工作;
- 沈全荣(1965),男,江苏吴江人,研究员级高级工程师,从事电力系统继电保护的研究、开发和管理工作的。

An Automatic Static Simulation Test Acheme for High-voltage Bus Protection

YU Zhe, LI Zhongan, LI Xingjian, WANG Yanguo, SHEN Quanrong
(Nanjing Nari-Relays Electric Co. Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: This paper introduces an automatic test scheme for high-voltage bus protection which has already been in-service. Testing bus protection has some difficulties, such as the large number of IO interfaces, permutation and combination of bus operation modes, long time of testing execution, and easy to miss. This paper introduces practical example of automatic bus protection testing scheme. The testing scheme is based on test platform named 'Testcenter', and use Python as developing code language. Its produce scenarios automatically according to the predefined aims and then intelligently implement testing process. This scheme is applicable fo nb r both traditional and digital protections, and supports to the IEC 61850 and IEC 103. Currently, this proposed scheme can intelligently implement automatic static test the protections with various connections of PCS-915 series.

Key words: bus protection; static model test; automatic test