

基于 PLC 模块的变电站自动化测试仿真系统的实现及应用

邓洁清, 袁宇波

(江苏省电力试验研究院有限公司, 江苏 南京 210036)

摘要: 目前变电站自动化测试主要是对测控装置进行单体测试, 很少有对自动化系统进行系统级测试的。针对这种情况, 提出了基于 PLC 模块的变电站自动化测试仿真系统, 通过该测试仿真系统, 即可有效地开展自动化系统级测试。对变电站自动化系统测试结构进行概要说明, 在此基础上进一步说明测试仿真系统的构成, 并指出仿真环境在仿真系统中的重要地位; 从硬件构成和软件实现两个方面对仿真环境的现实进行说明, 以 220 kV 母线故障为例, 详细阐述了如何利用测试仿真系统模拟电网故障, 对故障中的自动化系统的性能指标进行测试; 指出由于 PLC 系统提供用户开发界面, 使得测试仿真系统具有一定的灵活性和可扩展性。

关键词: PLC 模块; 变电站自动化系统测试; 测试仿真系统; 测试仿真环境; 模拟电网故障

Realization and application of transformer substation automation test simulation system based on PLC module

DENG Jie-qing, YUAN Yu-bo

(Jiangsu Electric Power Research Institute Corporation Limited, Nanjing 210036, China)

Abstract: The current transformer substation automation test is mainly for single measurement and control device, is not for automation system. So transformer substation automation test simulation system based on PLC module is proposed and the effective test for automation system is carried out. Firstly, this paper describes structure of automation system test and explains test simulation system's constitution. Then it carries on explanation to the simulation environment reality from two aspects of hardware and software. Secondly, it elaborates in detail how to use the test simulation system to simulate electrical network breakdown, to test performance of automation system. Lastly, this paper points out because the PLC system provides the user the development contact surface, it enables the test simulation system to have certain flexibility and the extendibility.

Key words: PLC module; transformer substation automation system test; test simulation system; test simulation environment; simulation electric breakdown

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)24-0157-04

0 引言

随着电力系统“大二次”的整合和变电站集中控制的推广, 对变电站自动化系统的功能和性能要求越来越高。而目前变电站自动化系统测试还停留在测控装置单体测试的水平上, 几乎没有检测机构在实验室中对由大量测控装置组成的变电站自动化系统进行系统级的功能和性能检测, 这不能满足变电站自动化系统发展的需要, 所以在实验室中构建与实际变电站同等规模的测试仿真系统对于自动化系统合格并网、稳定运行意义重大^[1]。

1 变电站自动化测试系统构建概述

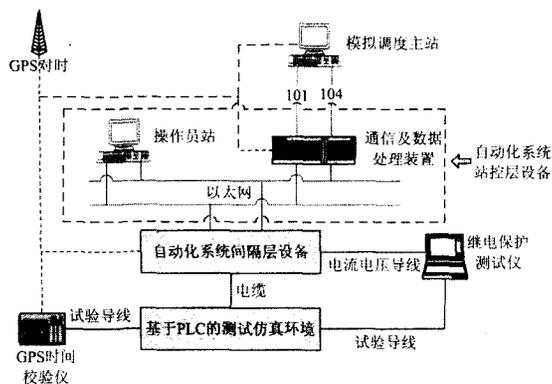


图1 变电站自动化测试系统结构框图

Fig.1 Transformer substation automation test system structure diagram

1.1 测试系统构成说明

整个变电站自动化测试结构如图 1 所示，由测试仿真环境、自动化系统间隔层设备、自动化系统站控层设备、模拟调度主站、继电保护测试仪等组成。其中测试仿真系统包括：测试仿真环境、模拟调度主站、继电保护测试仪；被测试的自动化系统包括间隔层设备和站控层设备。测试仿真环境真实地模拟了一个国网公司典设 A-7 规模的 220 kV 变电站，共有 3 台主变、6 条 220 kV 线路、10 条 110 kV 线路^[2]。测试仿真环境是用 SIEMENS 公司的 PLC 系统来实现的，主要功能包括：模拟一次设备的控制信号、位置信号和状态信号；模拟保护装置的动作、告警信号；实现全站的防误逻辑闭锁；实现电网故障状态序列等。继电保护测试仪的作用是提供测试所需要的电流电压模拟量。模拟调度主站是基于 ET-2000 规约分析仪构建的，主要用于模拟通过 104 通道（基于以太网）^[3]和 101 通道（基于串口）^[4]和自动化系统的通信及数据处理装置进行通信。自动化系统间隔层设备和站控层设备都属于被测试范围，间隔层设备是指按照 A-7 规模变电站配置的相关测控装置（共 29 台）。站控层设备如图 1 所示，包括：操作员站和通信及数据处理装置。测试仿真环境和自动化系统间隔层设备通过电缆联系，进行遥控遥信量的交互。间隔层设备和站控层设备通过以太网进行信息交互。站控层通过通信及数据处理装置和模拟调度主站联系^[5]。

1.2 测试系统功能说明

变电站自动化系统测试包括：系统构成测试、遥测量误差测试、系统功能测试、防误操作功能测试、系统性能测试^[6]。其中系统构成测试，主要是对自动化系统结构和网络结构进行检查，比较简单。测试仿真系统主要是对遥测量误差、系统功能、防误操作功能、系统性能进行测试。其中系统测试包括正常运行时系统性能测试、电网故障时系统性能测试、雪崩故障时系统性能测试。由于测试仿真系统的 PLC 模块是可编程的，所以可以根据需要通过对 PLC 编程来实现不同的电网故障，例如 220 kV 母线故障等，同样也可以实现雪崩故障，具体过程下文将作详细说明。

2 测试仿真环境的硬件实现

通过基于 PLC 模块的仿真环境真实地再现了变电站实际运行环境，如图 2 所示，现作详细说明。

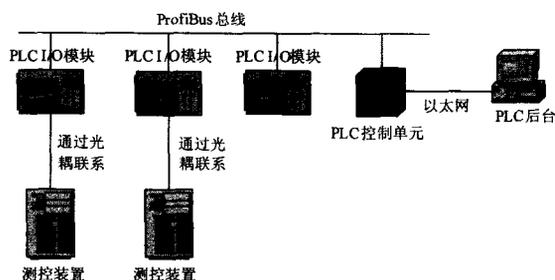


图 2 变电站仿真环境硬件说明

Fig.2 Transformer substation simulation environment hardware explanation

基于 PLC 的变电站仿真环境由三部分组成：PLC I/O 模块、PLC 控制单元、PLC 后台。PLC I/O 模块和 PLC 控制单元之间通过 Profibus 总线进行连接，PLC 控制单元通过以太网和 PLC 后台连接^[7]，PLC I/O 模块和测控装置之间通过光耦进行连接。

PLC I/O 模块根据功能主要分成三类：模拟变电站一次设备的遥控遥信量，例如开关、刀闸的控制信号、位置信号和本体信号；模拟变电站二次设备的遥控遥信量，例如保护的動作信号和告警信号；公共开入开出量模拟，用于触发 GPS 时间测试仪对时和触发保护测试仪的状态序列。

PLC 控制单元主要有通信接口模块和 CPU 模块组成。通信接口负责和 PLC 后台进行数据交换。CPU 模块运行 PLC 主程序，负责对遥控量的处理、遥信量的产生、全站闭锁逻辑的实现和电网故障中断的处理。

3 测试仿真环境的软件实现

变电站仿真环境软件主要由两部分组成：PLC 控制单元程序、PLC 后台程序（基于 WinCC 编程）。

(1) PLC 控制单元程序说明

PLC 控制单元程序简称主程序，采用了面向过程的编程方式，没有人机对话界面，使用了 PLC 的 STL 程序语句。PLC 仿真系统只有开关量输入/输出模块（即 I/O 模块），没有模拟量输入输出模块。每个 I/O 模块有 8 个 I/O 端口。每个 I/O 端口都有对应的 I/O 全局量，例如 Q0.0 即表示第 0 个输出模块的第 0 个端口（PLC 模块和端口从 0 开始计数），I0.0 即表示第 0 个输入模块的第 0 个端口。I/O 端口和 I/O 全局变量之间通过映像缓冲区关联。

主程序的基本流程如图 3 所示。

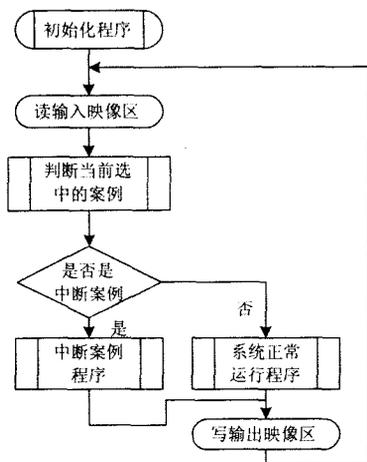


图3 PLC控制单元程序流程图

Fig.3 PLC control unit program flow diagram

当 PLC 的 CPU 模块上电启动时, 自动进入初始化程序, 对 PLC 的 I/O 模块进行初始化设置, 同时将“案例选择”全局变量赋值为“系统正常运行案例”, 以保证上电启动后的第一次程序循环进入正常系统运行程序。然后读取输入映像区, 将其状态赋值给输入全局变量。输入映像区和输入端口实时关联, 当输入端口为高电平, 则映像区临时变量为 1; 输入端口为低电平, 则映像区临时变量为 0。主程序的案例主要分为两类: 循环案例和中断案例。循环案例顾名思义就是循环执行的案例, 中断案例是靠定时器进入中断执行程序, 一旦定时器开启, 则每过一个定时器间隔时间即进入一次中断程序, 直到关闭定时器。

系统正常运行案例属于循环执行案例, 主要实现的功能有: ① 输入端口和输出端口的关联, 即遥控量和遥信量的关联, 例如当接收到开关分闸命令(遥控量), 则相应的开关位置信号要处于分闸位置(遥信量), 真实的模拟开关接到分闸命令到开关分开这个过程。② 实现全站的防误闭锁逻辑。为了防止电气误操作, 在技术上提出了闭锁逻辑, 即隔刀、地刀等一次设备的操作必须满足一定的条件, 如果条件不满足, 则闭锁相应操作, 例如: 母线地刀操作的条件就是母线上所有隔刀处于分闸位置^[8]。系统正常运行案例当接到来自测控装置的遥控命令时, 首先对其相应的闭锁逻辑进行判断, 符合条件则改变相应遥信量的输出, 以模拟设备的动作过程, 不符合条件, 则闭锁遥控命令, 并报警。

中断案例主要是指自动化系统测试所需的测试案例, 包括雪崩测试案例、220 kV 母线故障案例、#1 主变故障(高压侧开关失灵)案例。这三个案

例实现方法是类似的, 都是采用了 PLC 系统中的定时器中断来完成。现以雪崩测试为例进行详细说明:

主程序每次循环都判断“案例选择”这个全局变量, 当“案例选择”为“雪崩测试案例”时, 则开启定时器中断, 中断时间设为 100 ms (雪崩测试要求每 500 ms, 相关遥信量变位一次), 同时将雪崩测试计数器清 0 (该计数器为一个全局变量)。至此, 每隔 100 ms, 进入一次定时器中断, 每进入一次定时器中断, 则计数器加 1。在中断程序中, 对计数器进行判断, 当为 5 的整数倍时 (因为要求每 500 ms, 变位一次, 而定时器定时设为 100 ms), 则对相应遥信量进行状态改变。当变化次数满足要求时 (要求变化 20 次), 则在中断程序中, 关闭定时器, 结束这次雪崩测试。这里需要说明的是: 案例选择是在 PLC 后台人机界面中选择的, 即在后台程序中, 对“案例选择”变量进行赋值的。

(2) PLC 后台程序说明

PLC 后台程序基于 Wincc 编程, 类似与 VB 的窗体编程。后台程序主要包括: ① 实现一次主接线图的界面, 在此界面上对一次设备强制分合和电气解锁, 强制分合是指直接对一次设备的位置信号进行变位, 而不是通过遥控命令来对一次设备位置信号进行变位。电气解锁就是对接受的遥控命令不进行闭锁逻辑判断。② 进行案例选择, 目前可以选择的案例有: 系统正常运行案例、雪崩测试案例、220 kV 母线故障案例、#1 主变故障(高压侧开关失灵)案例。案例是在 PLC 控制单元程序中实现的, 这一点上面已经做了详细说明。

这里还需要说明的是: PLC 后台程序是如何与 PLC 控制单元程序进行数据交互的。在 PLC 后台编程工具 WinCC Explorer 中, 可以建立 PLC 控制单元程序中全局变量的映射。通过读取映射即可知道全局变量的值, 对映射赋值即可对全局变量进行赋值。正是通过这种方法, 后台程序才得以提供人机界面让测试人员选择需要执行的测试案例^[9]。

4 测试仿真系统在模拟电网故障测试中的应用

对于自动化系统性能测试分为两个层次: 正常运行下的性能测试、电网故障下的性能测试。用测试仿真系统模拟的电网故障下性能测试属于非常规测试, 主要包括: 电网故障下的遥信 SOE 性能测试、遥信 COS 性能测试、变化遥测到后台画面显示延时测试、变化遥测到远动机发送报文延时测试、变化遥信到远动机发送报文延时测试、通信网络负荷率测试等。借此对自动化系统在恶劣情况下是否可以

稳定可靠运行作出客观、准确的评价,这也正是测试仿真系统的优势和价值所在。现以 220 kV 母线故障为例对测试仿真系统如何模拟电网故障进行阐述。

由第 3 节的介绍可以得出,母线故障状态序列是用测试仿真环境的 PLC 控制单元中执行的,但是每次状态序列是由 PLC 后台程序来触发的。电网故障时电流电压的变化是通过继电保护测试仪的状态序列来实现,该状态序列是由测试仿真环境的 PLC 公共模块来触发的。

如图 4 所示,初始状态时继电保护测试仪提供正常电压电流给自动化系统的间隔层设备(即测控装置);由 PLC 后台程序开始母线故障的模拟,进入状态 1(0 ms): PLC 控制单元程序进入定时器中断,输出两路开出量,一路触发继电保护测试仪改变状态,提供故障时的电流电压量,一路触发 GPS 时间校验仪记录故障开始时刻;在第 30 ms 时,PLC 控制单元程序进入定时器中断执行状态 2: 模拟相关保护动作,同时输出一路开出量来触发保护报文模拟装置,上送保护动作事件报文;在第 50 ms 时,PLC 控制单元程序进入定时器中断执行状态 3: 模拟一次设备动作,同时输出两路开出量,一路触发继电保护测试仪改变状态,提供故障后的电流电压量,一路触发 GPS 时间校验仪记录故障结束时刻。通过这三个状态的执行,真实地模拟了母线故障时遥信遥测量和保护报文信息的产生,从而在此情况下,对自动化系统性能进行测试。

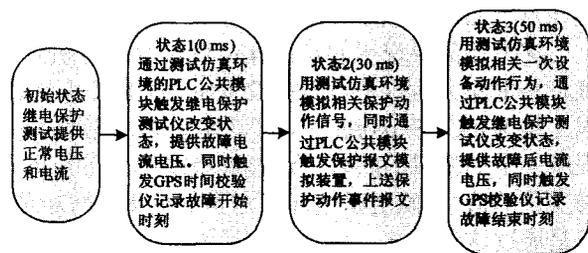


图 4 母线故障状态序列图

Fig.4 Bus bar breakdown sequence chart

5 总结

基于 PLC 模块的测试仿真系统从根本上提高了变电站自动化测试的水平:①由于仿真环境真实地模拟了变电站运行情况,所以使得自动化测试更

加真实、客观;②将自动化测试提升到系统级的高度,尤其是对电网故障情况下的系统性能进行测试,这是以前所没有的。因此测试仿真系统为自动化系统入网测试,为自动化系统的稳定运行打下坚实的基础。在江苏省公司的要求下,对南京中德公司的自动化系统进入入网测试,在此基础上编制的《变电站自动化系统入网检测方案》初稿已提交省公司进行讨论。此外 PLC 系统提供用户开发界面,为测试仿真系统的后续开发提供了便利,具有一定的灵活性和可扩展性。

参考文献

- [1] 姜思卓. 集中控制中心的建设与应用[J]. 农村电气化, 2008, (2) .
- [2] 刘振亚. 国家电网公司输变电工程典型设计 220 kV 变电站分册[M]. 北京:中国电力出版社, 2005.
- [3] DL/T 634.5101-2002,《远动设备及系统第 5 部分: 传输规约第 101 篇: 基本远动任务配套标准》[S].
- [4] DL/T 634.5104-2002,《远动设备及系统第 5 部分: 传输规约第 104 篇: 基本远动任务配套标准》[S].
- [5] 柳永智, 刘晓川. 电力系统远动(第二版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [6] 杨洪涛, 卜一凡, 梁志成, 等. 基于 Hypersim 的变电站自动化系统闭环测试环境的建立 [J]. 电力自动化设备, 2007,(11):83-86.
YANG Hong-tao, BU Yi-fan, LIANG Zhi-cheng, et al. Hypersim-based Closed-loop Test Environment for Substation Automation System[J]. Electric Power Automation Equipment,2007,(11):83-86.
- [7] 廖常初. S7-300/400 PLC 应用技术[M]. 北京:机械工业出版社, 2005.
- [8] 邱涛. 电气二次防误闭锁与微机监控闭锁共同运行的必要性[J]. 电气应用, 2008,(1):55-56.
- [9] 王志开. PLC 及 WINCC 组态软件在自动控制中的应用[J]. 中国科技信息, 2005,(5):14.

收稿日期: 2008-12-24; 修回日期: 2009-07-06

作者简介:

邓洁清(1977-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事电力系统自动化的试验与研究; E-mail: djq0905@163.com

袁宇波(1975-), 男, 博士后, 高级工程师, 长期从事电力系统自动化的仿真与研究分析工作。