基于 RTDS-GTNET 的智能变电站保护装置实用化测试技术及方案

彭 放[1],高厚磊[1],刘益青[2],孔凡东[3]

(1. 山东大学 电网智能化调度与控制教育部重点实验室,山东 济南 250061;
2. 济南大学 自动化与电气工程学院,山东 济南 250022;3. 国网苏州供电公司,江苏 苏州 215004)

摘要:简要介绍了传统 RTDS-GTNET 的测试结构,并分析了智能变电站背景下对保护装置进行测试的实用化需求。针对测试需求,对更新的 GTNET-SV 模块技术进行了同步跟踪,对比了新、旧版本采样值(SV)模块的协议以及报文抖动情况,利用参数识别匹配的方法为 RTDS 与保护装置 SV 报文数据的正常交互提供了解决方案。以站域保护装置为实例,介绍了利用 GTNET 实现闭环测试的方法,并验证了测试的准确性。

关键词:智能变电站;GTNET;IEC61850;实时数字仿真;智能电子设备;闭环测试;继电保护;通信

中图分类号:TM 743 **文献标识码**:A DOI:10.16081/j.issn.1006-6047.2016.05.027

0 引言

智能变电站是智能电网的重要组成环节,与传统变电站相比,智能变电站具有智能化的一次设备和集成化的二次设备,并支持各种高级的互动应用[1]。现代化监控系统以及新型互感器、智能断路器、智能电子设备(IED)等装置的出现,不仅影响了变电站的构建及实现方式,同时也使变电站的测试方式发生了重大的变化,虚端子和配置检查、装置互通试验、电子式互感器性能测试成为了测试的关键和重点。但这部分工作不完全依赖于现场,在实验室内即可对智能化的二次设备进行闭环的动态仿真,测试保护测控系统的动作是否符合逻辑[2]。目前智能二次设备常用的测试手段主要包括动态物理模拟试验、继电保护测试仪以及数字实时仿真系统(如实时数字仿真器(RTDS)、ADPSS、HYPERSIM、DDRTS 等),其中 RTDS 由于其建模周期短、灵活性强和数值稳定性好等优点在国内的使用最为广泛[3-4]。

IEC61850 标准为不同厂商的 IED 实现互操作和系统无缝集成提供了途径[5],符合 IEC61850 标准是对智能变电站及安装于其中设备的最基本的通信要求。对这些 IED 进行的测试,需采用光纤通信的方式直接获取仿真设备提供的电压和电流的数字量信息,而传统的测试方案只能提供模拟量。因此,应在传统测试方案的基础上进行升级,加入功率放大器以及 D/A 转换环节[6]。RTDS-GTNET 板卡的开发极大地简化了这一过程,GTNET 板卡可以直接输出符合 IEC61850 标准的数字量信息,操作方便灵活,并且 RTDS 公司也在针对国内应用 IEC61850 协议的情况不断进行同步开发。

本文首先简要介绍了 RTDS 及传统的 RTDS-GTNET 测试结构,并分析了保护装置的实用化测试需求。针对这些需求,提出了新式采样值(SV)模块及参数识别匹配的关键技术。最后,本文以站域后备保护的 IED 为实例进行了测试,利用 RTDS-GTNET 构建了实时的闭环测试系统,并通过报文数据的解析来验证测试的准确性。

1 RTDS 及传统 RTDS-GTNET 测试结构

1.1 RTDS 简介

RTDS 已被广泛应用于电力系统分析、继电保护装置的闭环测试、HVDC 和 FACTS 装置的控制系统闭环测试,尤其是保护装置闭环测试的应用[7-10]。利用 RTDS 对保护装置进行闭环测试,真实模拟现场运行情况,可以缩短保护装置的研发周期[11]。

RTDS 由软件和硬件两部分构成。

a. RTDS 的软件平台(RSCAD)可搭建一次电力系统模型,实时模拟电力系统,显示电压、电流以及开关的信息。

b. 硬件平台(Rack)由 PB5、GTNET、GTWIF、GTSYNC 等板卡组成。GTNET 板卡提供符合各种网络规约用于与外部通信的数据接口①,支持符合智能变电站 IEC61850 规约的 SV 信息和通用变电站事件(GSE)的传输。SV 模块用于发送电压、电流的 SV 信息,GSE 模块则用于 GSE,面向通用对象的变电站事件(GOOSE)和通用变电站状态事件(GSSE)2 种 GSE 机制均可接收和发送开关变位、保护动作等状态变化信息。

1.2 传统 RTDS-GTNET 保护装置测试结构

文献[12]给出了传统的 RTDS-GTNET 测试结

收稿日期:2015-03-24;修回日期:2016-02-24

①RTDS Technologies. GTNET network interface card. 2012.

构。RTDS 实时仿真正常或故障时的电力系统,与保护装置通过 GTNET 板卡经交换机接口,提供符合 IEC61850 标准的 SV 及 GOOSE 信息,实时发送保护装置所需的数据,并接收保护装置反馈的 GOOSE 信息,控制电力系统中的开关动作,实现对保护装置的闭环测试。

GTNET 板卡的功能在 RSCAD 中由软件模块实现,即在对应软件模块中配置 RTDS 收发的数据信号及 GTNET 板卡的硬件接口等信息。1 个模块代表 1 张 GTNET 板卡,软件模块和硬件板卡结合等同于 1 个 IED,并搭配 1 个处理数据的 PB5 板卡。

传统的 RTDS-GTNET 测试方式需在每个开关处设置 1 个 GTNET-SV 板卡,其原因是 GTNET-SV 板卡传输的数据受到限制,每个板卡只能传输包含 A/B/C/N 相的 4 路电压和 4 路电流共 8 路数据,即 1 个开关处的电压、电流数据。当保护装置需采集多处电压、电流信息时,需配置多个 GTNET 板卡。

2　保护装置的测试需求及实用化关键技术

随着 RTDS 的普遍应用以及智能变电站背景下继电保护技术的快速发展,保护装置的实时测试需求愈加广泛,对测试的准确性、便捷性、经济性等方面提出了更高的要求,本节对保护装置的测试需求及针对性的实用化测试关键技术进行了介绍。

2.1　保护装置的测试需求

a. 不同的保护装置需采集不同路数的电压、电流量,当保护装置采集站内多处的电压或电流量作为逻辑判据时,传统的 RTDS-GTNET 测试方式无法使用单张 GTNET-SV 板卡实现测试,必须使用多张 GTNET-SV 板卡,故报文数据之间具有不确定性的非同步问题;且使用多张板卡的测试成本较高,经济性差。若保护装置只采集电压量或电流量,对 SV 模块进行数据改造后,也仅能采集 8 路数据,单张板卡仍不能满足路数需求。

b. 针对所传输的 SV 报文,传统 GTNET 板卡也无法满足保护装置的需求,仅能支持 IEC61850-9-2LE 报文的传输。IEC61850-9-2LE 是 IEC61850-9-2 的简化版本,这种版本的实现快速简单,国外的厂商多有使用[13-14],但不符合国内以 IEC61850-9-2 版本为依据的要求,无法直接实现对满足国内标准要求的保护装置的测试。另一方面,国内标准规定保护装置所接收的 SV 报文数据的抖动偏差(即报文的实际发出时间与设定发出时间的偏差)在 10 μs 以内,若抖动超过 10 μs,保护装置会发生丢包事件,导致不能完整地采集电压或电流的 SV 数据,而传统 SV 模块及固件所驱动的 GTNET 板卡所输出的报文数据抖动偏差过大,远远超出了 10 μs 的标准。

c. 保护装置根据合并单元(MU)或智能终端(ST)的 CID/ICD 文件识别所采集的电气信息量。在闭环测试中,要实现装置与 RTDS 间的双向通信,应向保护装置内部导入 GTNET 的等同 IED 配置文件。但 RTDS 的 SV 模块不能直接生成适合装置的 CID/ICD 文件,需寻求其他解决方案。

2.2　新式 GTNET-SV 模块的升级及对比

针对以上测试需求,在最新版本的 RSCAD 软件及 RTDS 硬件驱动下,每个 GTNET-SV 模块可支持 24 路数据传输,对于下文中站域保护以及母差保护等需要采集多处电流量的情况具有良好的适应性,可灵活配置各项参数。新式 GTNET-SV 模块传输的 SV 报文支持 IEC61850-9-2 版本,符合国内 IED 通信的需求,大幅增强了 RTDS 的实用性。

将 RSCAD 软件升级至最新版本,并更新 RTDS 硬件的驱动。由于 GTNET 与 RTDS 主机之间经文件传输协议(FTP)传输文件②,通过 DOS 命令将 GTNET-SV 协议及 GTNET-FPGA 安装至 GTNET 板卡。由于 1 张板卡可安装 4 种协议,所以选择 1 个位置进行安装,覆盖旧式协议或安装于空缺位置,安装完成后激活对应的位置。SV 报文的发送也受 GTWIF 及 GTSYNC 板卡的影响,故使用 RSCAD 固件升级工具直接升级 GTWIF/GTSYNC-OS/FPGA 固件。新式 GTNET-SV 模块在传输数据量以及协议版本方面达到了保护装置的实用化测试需求。

SV 的报文抖动偏差是影响报文接收连续性的关键。为检验新版 SV 模块的报文是否会引起丢包事件,本文使用专用的网络数据分析设备——网络分析仪(或电子式互感器校验仪)抓取 GTNET 板卡发出的 SV 报文数据包测试抖动偏差,以每个周期采样 80 个点为例,对新、旧版本的 SV 模块进行分析对比,结果如表 1 所示。

表 1　新、旧版本 SV 模块报文抖动偏差对比

Table 1　Comparison of SV module packet jitter between new and old versions

模块	最大抖动偏差/μs	超标事件产生的频率/次	达标率/%
旧版本	几百	≈10	≈99.6
新版本	18	≤1	≥99.9

注:超标事件产生的频率为每分钟平均值。

由统计数据可以看出,新版 SV 模块产生超标的报文抖动为小概率事件,基本不会发生丢包事件影响装置的测试。

2.3　保护装置与 RTDS 的实用化通信方法

针对 2.1 节所述测试需求 **c**,本文采用了参数识别匹配的方法来实现保护装置与 RTDS 的双向通

② RTDS Technologies. Instructions for updating the GTNET firmware. 2013.

信,通过将已对该保护装置具有适应性的其他装置(如MU)配置文件进行更改,把该文件中用于通信识别的参数与SV模块中的对应参数进行匹配。经过解析保护装置的配置文件可知,通信参数以及采样控制参数等是保护装置识别并接收RTDS数据的关键,具体如表2所示。

表2 通信参数和采样控制参数

Table 2 Communication parameters and sampling control parameters

参数	参数名	含义
通信参数	MAC Address	目的组播地址
	APPID	应用标识
	VLAN-ID/Priority	虚拟局域网标识/优先级
采样控制参数	SmvID	采样控制标识
	Sample rate	采样率

保护装置的参数由其内部的CID/ICD配置文件确定,RTDS的参数由RSCAD中的SV通信控制块确定。RTDS与保护IED通信的关键SV参数及IED内部识别机制如图1所示。由图1可见,IED(保护装置)自身的文件Iedcfg用于基本的配置设置,MU的CID文件中包含符合IEC61850标准的通信段落和IED段落。IED的内部文件Iedcfg中的订阅值段落则配置了应采集(即订阅)的MU中的电气量数据。Iedcfg文件通过MU的CID文件名定位到相应的文件。具体配置时,首先在SV模块中设置通信参数以及采样参数,然后修改CID文件中通信段落的通信参数,使其与RTDS-SV的通信参数匹配,并设置为同一组播地址且划分为同一虚拟子网;同时,修改IED段落中的采样控制块参数与GTNET-SV的SmvID、Sample rate进行匹配。修改完成后利用保护装置的专用工具将新的CID文件导入装置中。

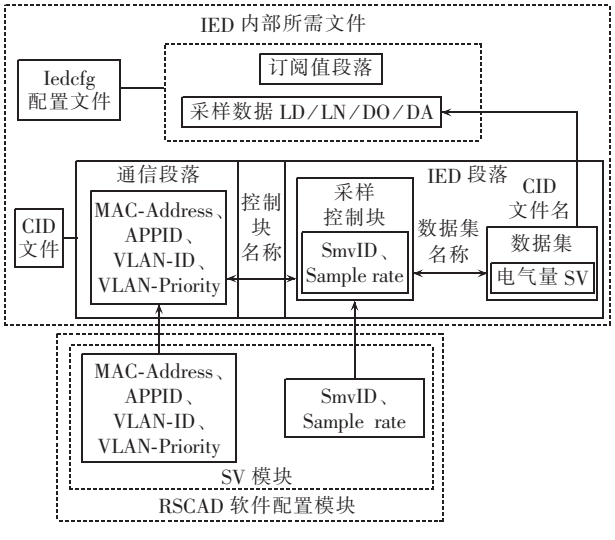

图1 RTDS与保护IED通信的关键SV参数及IED内部识别机制

Fig.1 Key SV parameters of communication between RTDS and protective IED,and internal identification

对于SV模块的配置文件生成问题,存在另一种解决方案。对GTNET板卡进行升级后,新版SV协议模块可在编译RSCAD之后生成GTNETSV.iid文件,该文件可用于外部装置的参数识别,但对于不同厂商装置的适应性仍有待考证。

3 RTDS-GTNET闭环测试实例

针对传统的后备保护面临整定配合复杂、动作速度慢等问题,前期工作中提出了基于电流差动原理的站域后备保护方法,并利用智能变电站的信息共享技术开发了符合IEC61850标准的保护装置[15],与主保护相配合以实现对智能变电站的后备保护功能。为验证该装置能否可靠动作,使用RTDS对保护装置进行闭环测试。

3.1 站域后备保护装置的RTDS测试方案

3.1.1 仿真模型及测试方案

在RSCAD软件平台的一次电力系统仿真模型中设置了2台变压器T_1和T_2,低压侧通过分段开关联接,模型如图2所示。

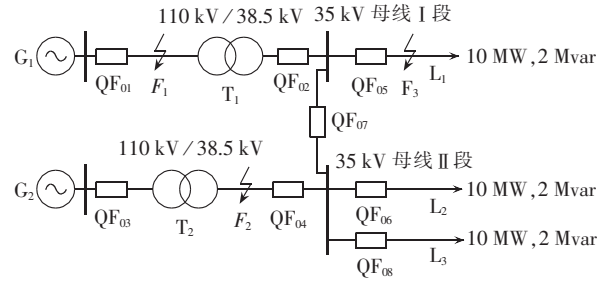

图2 电力系统仿真模型

Fig.2 Simulation model of power system

图3为站域后备保护装置的测试结构接线图。在RSCAD软件平台搭建一次电力系统模型,设计了故障及断路器控制子系统,并配置了SV模块和GSE模块的通信子系统。RSCAD软件与Rack之间通过以太网进行连接,经GTWIF板卡与Rack内的其他板卡进行通信。软件中的SV/GOOSE模块对GTNET板卡的作用,通过连接到GTWIF的PB5板卡经GT光纤与GTNET板卡的通信来实现。本方案中使用了2张GTNET板卡,各自安装SV协议及GOOSE协议,2类数据分别经保护装置的SV接收板及

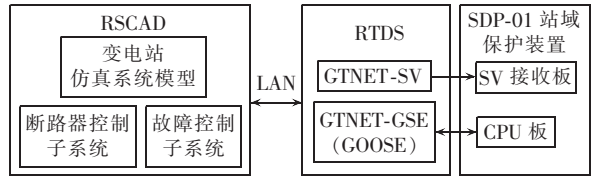

图3 站域后备保护装置测试方案

Fig.3 Test scheme for substation backup protection

CPU 板传输,各自使用一对光纤接口。由于本测试使用的 GTNET 板卡为 TX 电端口,被测试的装置为 FX 光端口,需使用光电转换器对 2 种不同接口进行转换。

3.1.2　利用 GTNET 实现闭环测试的方法

站域后备保护装置利用电流差动原理判别 2 台变压器的故障逻辑,采集 QF_{01}—QF_{04} 和 QF_{07} 共 5 处电流,即 15 路 SV 量。利用新版 SV 模块,单张 GTNET 板卡即可实现站域电流的采集。

闭环通信是实现闭环测试的重点。利用第 2 节中的参数识别匹配方法修改已对保护装置具有适应性的 MU 的 CID 文件,作为 GTNET-SV的等同 IED 配置文件。除了表 2 所示参数外,在原 MU 的 CID 文件中,描述向外发送的数据集中的功能约束数据属性 FCDA(Functional Constrained Data Attribute)部分也需要根据 RTDS 发送的数据进行修改。原有数据集中仅有 1 个逻辑节点(LN)实例 LnInst 用于发送 1 处的 A/B/C 相电流数据,将该数据集扩展为 5 处数据对应的 FCDA,即在原有的 1 个 LnInst 基础上增加 4 个新的 LnInst,共形成 15 个 FCDA 的数据集,最终形成 GTNET-SV 模块的等同 IED 配置文件(SV.CID)。GTNET-GOOSE 的等同 IED 配置文件则由 GOOSE 模块的 SCDEditor 工具直接导出 ICD 文件(GOOSE.ICD)。

向站域保护装置导入以上 2 个 GTNET 的等同 IED 配置文件(无需 SCD 文件),再将站域保护装置的内部 Iedcfg 文件关联 SV.CID 的采样值信号及 GOOSE.ICD 的开关量信号,以订阅 RTDS 所发布的信息。另一方面,使用 SCDEditor 将描述保护装置能力的 CID 配置文件导入 GOOSE 模块,生成 RTDS 订阅保护装置发布信息所需的 SCD 文件,配置于 GTNET-GOOSE 模块,以实现保护装置与 RTDS 之间的双向通信。

需注意的是,对 GTNET 进行配置时,每个 GTNET 软件模块与每张 GTNET 板卡一一对应,软件模块中的硬件板卡接口参数 Proc/Port/Card 需通过查看 GTNET 硬件板卡及其与 PB5 板卡的接线来设置。本文在利用 SCDEditor 生成 SCD 文件时,由于导入 SCDEditor 的保护装置配置文件中含有中文字符,导致配置完成后重新打开编辑该 SCD 文件时会出错,只能一次配置,故 GTNET 模块仍需要进行改进。此外,GOOSE 模块仅能直接发送 SPS 的单点状态信息,而国内保护装置对开关位描述也使用 DPS 的双点状态信息,这增加了配置的难度。最新版本的 RTDS 软件已在这 2 点进行了改进。

3.2　测试结果

RSCAD 平台显示仿真模型中的电流波形以及保护动作信息,以"T_1 高压侧故障,主保护动作,T_1 高压侧开关拒动"为例说明测试结果。图 4 为测试波形图。图中波形由上至下分别为 T_1 高、低压侧电流波形,T_2 高、低压侧电流波形,T_1/T_2 低压分段母线侧电流波形,T_1 主保护动作信号(0、1 分别表示动作和未动作,后同),T_2 主保护动作信号和站域后备保护装置保护动作信号。

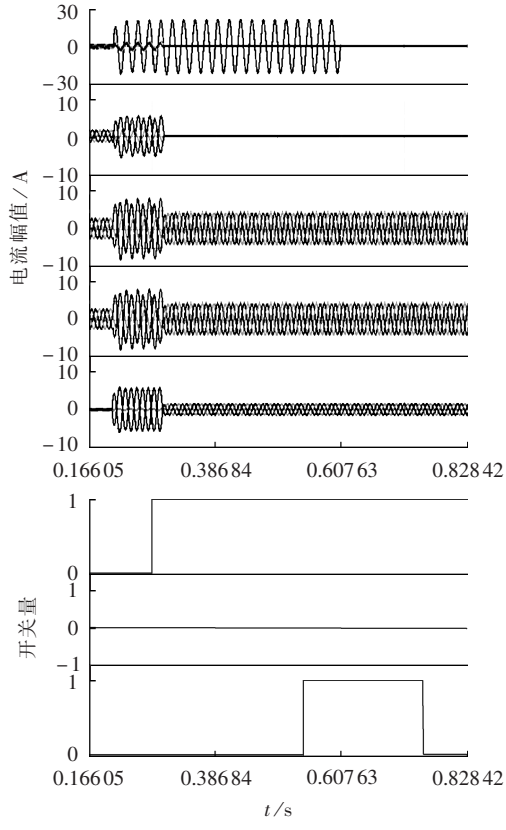

图 4　测试结果

Fig.4　Test results

T_1 高压侧故障时,故障电流出现;T_1 主保护信号动作,跳开高、低压侧的开关,低压侧故障电流消失,但由于高压侧开关拒动,故障电流保持;站域后备保护装置通过逻辑判断,延时 300 ms 发出后备跳闸信号,成功跳开 T_1 高压侧开关,故障电流切除,实现了 RTDS 与保护装置之间的闭环测试,验证了装置的后备保护功能。

3.3　GTNET 板卡 SV 报文数据解析

单张板卡采集 15 路电流量,图 5 为报文数据解析示意图。在该帧 SV 报文中,阴影部分为第 1 路电流的数据值与品质值,至帧尾共 15 路,即单张板卡发送的 15 路数据由 1 帧报文同时发送,电流量由保护装置同步接收,不存在多张板卡发送的多帧报文之间的不同步问题。

在 RSCAD 中显示其发送的电流量,与保护装置计算所得的电流量进行对比,保护装置接收的数据有效值浮动比例在 1% 以内,与 RTDS 发送的原值偏差

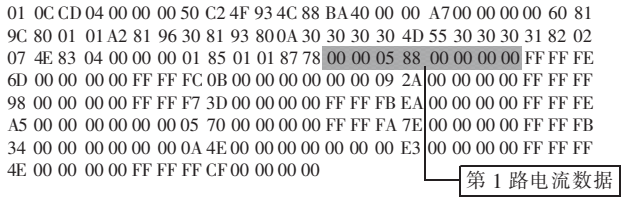

图 5 报文数据解析示意图

Fig.5 Schematic diagram of message data analysis

也在 1% 以内。利用网络报文分析设备抓取某段时间内光电转换器输出的 SV 报文。将抓包文件的波形数据与 RSCAD 软件中的波形数据进行对比,测量有效值,前者与后者的数据偏差在 0.1% 以内。分析 PCAP 抓包文件,对报文数量以及比例的统计结果表明,报文抖动稳定地保持在 0 μs 或±1 μs,如表 3 所示,这说明造成该数据偏差的原因是少量报文偏离了正常报文的发送间隔。但这并非造成保护装置接收数据偏差的主因,同时也说明连接光电转换器对报文抖动产生的影响可忽略不计。保护装置将采样的 80 点/周期转换为 24 点/周期,此插值过程以及相量的计算误差是产生数据偏差的主因。这也证明了 GTNET 板卡发送 SV 报文的准确性较高。

表 3 PCAP 文件报文抖动统计

Table 3 Statistics of packet jitter for PCAP file

偏差/μs	数量	比例/%
−1	436	1.03
0	41 591	98.26
1	300	0.71
其他	0	0

4 结语

本文通过分析国内保护装置的测试需求,介绍了升级 SV 模块的方法,并对新、旧版本的 SV 模块进行了对比。同时,介绍了利用通信参数进行识别匹配的方法,在此基础上对 SV 模块所需配置文件进行了修改,并根据保护装置的特点提供了闭环测试方法以及相应的方案。本文还解析了 GTNET 板卡的 SV 数据报文,验证了报文的准确性。对符合国内 IEC61850 标准的 IED 装置的测试结果表明,RTDS 能够方便地满足国内装置的实时动态闭环测试的需求。

SV 模块在本文测试使用的直采直跳方式下的报文抖动满足 10 μs 以内的抖动要求,在网采网跳方式下连接专用的交换机后同样可满足 10 μs 以内的抖动要求。此外,2014 年,RTDS 公司新开发了 GTNET×2 板卡,集成了原来的 2 张 GTNET 板卡的功能,处理速度为老卡的 5~10 倍,经济性有所提升。GTNET×2 板卡的固件升级也无需通过 DOS 命令,可通过 RSCAD 软件直接升级。RTDS 的适用范围十分广泛,可较为精确地实时仿真大规模的电力系统,但 RTDS 也存在一些缺点,如保护动作时间记录不便、图形化界面的操作不够灵活、仿真规模受硬件限制等。总体上,RTDS 的应用简化了传统装置和 IED 的测试。虽然目前国内厂家也开发了类似的测试设备,但实时性和准确性都不能与 RTDS 相比拟。

参考文献:

[1] 李孟超,王允平,李献伟,等. 智能变电站及技术特点分析[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(18):59-62.
LI Mengchao,WANG Yunping,LI Xianwei,et al. Smart substation and technical characteristics analysis[J]. Power System Protection and Control,2010,38(18):59-62.

[2] 卜强生,袁宇波,高磊,等. 智能变电站集成测试技术与应用[M]. 北京:中国电力出版社,2013:15-18,168-174.

[3] 郭琦,张海波,韩伟强,等. 图形化 RTDS 在线实时仿真系统[J]. 电力系统自动化,2010,34(13):38-42.
GUO Qi,ZHANG Haibo,HAN Weiqiang,et al. An online RTDS simulation system with a graphical platform[J]. Automation of Electric Power Systems,2010,34(13):38-42.

[4] 王多,常康,薛峰,等. 基于 RTDS 与 MATLAB 的双馈感应风电机组动态特性仿真比较[J]. 电力自动化设备,2012,32(12):80-86.
WANG Duo,CHANG Kang,XUE Feng,et al. Comparison of DFIG dynamic characteristics simulation between RTDS and MATLAB [J]. Electric Power Automation Equipment,2012,32(12):80-86.

[5] 吴在军,胡敏强. 基于 IEC61850 标准的变电站自动化系统研究[J]. 电网技术,2003,27(10):61-65.
WU Zaijun,HU Minqiang. Research on substation automation system based on IEC61850[J]. Power System Technology,2003,27 (10):61-65.

[6] 高广玲,潘贞存,高厚磊,等. 基于 IEC61850 标准的实时数字仿真系统[J]. 电力系统自动化,2009,33(14):103-107.
GAO Guangling,PAN Zhencun,GAO Houlei,et al. Electrical real-time digital simulation system based on IEC61850[J]. Automation of Electric Power Systems,2009,33(14):103-107.

[7] 石新春,付超,马巍巍,等. 基于实测数据的电弧炉实时数字仿真模型及其实现[J]. 电工技术学报,2009,24(7):177-182.
SHI Xinchun,FU Chao,MA Weiwei,et al. A real-time digital simulation model and its implementation for arc furnace based on recorded field data[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009,24(7):177-182.

[8] 周巍. 基于 RTDS 的数字化变电站测试系统的研究[D]. 上海:上海交通大学,2010.
ZHOU Wei. Research on digital substation test system based on RTDS[D]. Shanghai:Shanghai Jiao Tong University,2010.

[9] CHEN Yue,吴涛,ZHANG Yi,等. RTDS 在基于 IEC61850 标准的保护闭环测试中的应用[C]//第十四届全国保护和控制学术研讨会. 郑州,中国:中国电机工程学会继电保护专业委员会,2013:1-7.

[10] 李少华,张爱玲,张崇见,等. 双馈式风电场暂态电压控制系统及其 RTDS 试验[J]. 电力自动化设备,2014,34(9):137-142.
LI Shaohua,ZHANG Ailing,ZHANG Chongjian,et al. Transient voltage control system and RTDS test for doubly-fed wind farm [J]. Electric Power Automation Equipment,2014,34(9):137-142.

[11] 杨浩. 基于 RTDS 的高速铁路牵引供电系统建模与仿真[D].

成都：西南交通大学，2013.
YANG Hao. Modeling and simulation for traction power supply system of high-speed railways based on RTDS[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2013.
[12] 孔凡东. 智能变电站站域后备保护开发与测试[D]. 济南：山东大学，2014.
KONG Fandong. Development a nd testing of substation-area backup protection in intelligent substations[J]. Ji'nan: Shandong University, 2014.
[13] 何磊. IEC61850 应用入门[M]. 北京：中国电力出版社，2012.
[14] 陈安伟，朱松林，乐全明，等. IEC61850 在变电站中的工程应用[M]. 北京：中国电力出版社，2012：140.
[15] 彭放，高厚磊，孔凡东，等. 智能变电站站域后备保护装置开发与测试[J]. 北京交通大学学报，2014，38(5)：119-122.
PENG Fang, GAO Houlei, KONG Fandong, et al. Development and testing of substation-area backup protection in smart substations[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2014, 38(5): 119-122.

作者简介：

彭　放

彭　放(1992—)，女，河北衡水人，博士研究生，从事智能变电站新型继电保护方面的研究(**E-mail**：pengfang@mail.sdu.edu.cn)；

高厚磊(1963—)，男，山东滕州人，教授，博士研究生导师，博士，主要从事电力系统继电保护领域的研究(**E-mail**：houleig@sdu.edu.cn)。

Practical test technology and solution based on RTDS-GTNET for protective equipments in smart substation

PENG Fang[1], GAO Houlei[1], LIU Yiqing[2], KONG Fandong[3]

(1. Key Laboratory of Power System Intelligent Dispatch and Control of Ministry of Education, Shandong University, Ji'nan 250061, China; 2. School of Automation and Electrical Engineering, Ji'nan University, Ji'nan 250022, China; 3. State Grid Suzhou Power Supply Company, Suzhou 215004, China)

Abstract: The test structure of traditional RTDS-GTNET is briefly introduced and the practical requirements for the test of protective equipments in smart substation are analyzed. Aiming at the requirements, the updated GTNET-SV module technique is synchronously tracked, the protocol and packet jitter of SV module are compared between new and old versions, and a solution applying the parameter-recognition-and-matching method to realize the normal SV message interaction between RTDS and protective equipment is proposed. With a substation area protection as an example, the implementation of closed-loop test based on GTNET is introduced and the test precision is verified.

Key words: smart substation; GTNET; IEC61850; real-time digital simulation; IED; closed-loop test; relay protection; communication

(上接第 159 页 continued from page 159)

Detection of hidden failure based on protection signals

LIANG Chen[1], TAI Nengling[1], HU Yan[1], ZHU Qin[2]

(1. School of Electronic Information and Electrical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China; 2. State Grid Shanghai Shinan Power Supply Company, Shanghai 200233, China)

Abstract: Since there is no effective way to detect the hidden failures of relay protective equipment, a method based on the analytic model of protective signals is proposed, which, for describing the association among the signals, establishes an analytic model according to the logical relationships among the signals of protective triggering, protective action, breaker tripping and fault location, and the configuration rules between main and backup protections, and the states of line three-zone protective operation, refuse-to-operation, mal-operation, etc. The maximum matching between actual and expected states of signal is taken as the objective of optimization and the results of optimization are applied to detect the hidden failures. The analytical results of case study prove the proposed method effective.

Key words: relay protection; hidden failure; analytic model; protection signal; protection triggering; failure analysis