

分布式稳定控制仿真测试系统的研制及应用

李兴建,夏彦辉,陈松林,任祖怡,沈全荣,王言国

(南京南瑞继保电气有限公司,江苏 南京 211102)

摘要:为简化稳定控制系统的现场测试工作,开发了一种新型分布式区域稳定控制仿真测试系统。该系统由仿真后台、稳定控制仿真测试装置和外部GPS构成。通过仿真后台的仿真软件对电力系统进行故障仿真,故障仿真的数据通过仿真测试装置执行输出,仿真测试装置通过外部GPS保证输出的严格同步,从而将仿真数据同步输入到各分布式稳定控制装置,以检验系统故障时各稳定控制装置的逻辑策略、动作情况等。现场应用结果验证了该系统的正确性。最后总结了该系统的优势和不足。

关键词:电力系统;区域稳定控制;动态整组测试;系统仿真测试;分布式系统;闭环测试;仿真

中图分类号: TM 743

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2014.05.026

0 引言

随着国民经济和科学技术的发展,电力系统规模逐步扩大,新型元件不断涌现,电网结构日益复杂,运行方式灵活多变,系统稳定问题日益突出。作为保证电力系统安全稳定运行的第二、三道防线和提高电网输送能力的重要手段,区域安全稳定控制系统得到了广泛的应用。一方面,在电力系统发生故障情况下,稳定控制系统的可靠正确动作可降低故障给电力系统造成的损失,使电力系统恢复安全稳定运行;另一方面,稳定控制系统的误动或拒动,轻则扩大事故影响,造成不必要的损失,重则对电力系统造成灾难性破坏。

稳定控制系统的高度复杂性对其测试工作带来了挑战,主要表现在以下几个方面。

a. 区域稳定控制系统所涉及的设备较多,且地理位置分散,多个厂站的稳定控制装置构成一个系统,配合工作共同实现区域稳定控制的功能,如南方电网的稳定控制系统横跨广东、广西、云南、贵州、海南五省,涉及厂站达数百个之多。要对如此庞大的系统进行一次完整的系统测试,其工作量和难度都非常大,而且系统测试时对系统运行方式的真实模拟要求较高,常规的测试手段很难满足测试要求。

b. 大规模电力系统的稳定控制策略一般比较复杂,采用的稳定控制装置来自不同的厂家,型号多种多样,不同厂家的测试方法和手段也各不相同。因此当前的系统测试大多采用分层、分级局部测试的方法,整个系统的全面测试较难实现。

c. 在稳定控制装置的开发和出厂验收测试过程中,为了保证软件逻辑的严密性,必须搭建与现场运行工况尽量接近的测试平台,这也是一个复杂的过程,用现有的测试手段实现起来比较困难。

因此,本文研制了新型的分布式稳定控制仿真测试系统,旨在为现场稳定控制系统级联调测试提供手段,以对电力系统稳定控制系统进行有效、可靠、完整的系统测试,将装置的软、硬件缺陷尽早地暴露出来,避免给电力系统安全稳定运行带来隐患,并简化测试人员的工作。

目前,稳定控制系统测试的方法主要有:用测试仪模拟故障强相关元件,针对单个稳定控制装置进行策略验证测试;动模试验;利用RTDS进行电力系统实时数字仿真试验。

上述3种方法中,第1种方法仅能对单台装置进行测试,显然无法满足现场对于系统及逻辑策略验证的需求。第2种方法试验效率较低,试验成本太大,只限于稳定控制装置研发和出厂验收阶段,无法对现场稳定控制装置进行测试。第3种方法可实现稳定控制系统的实时闭环试验,但是,限于计算节点的配置,大规模电力系统往往需要等值简化后才能进行仿真,需要测试人员对网络和RTDS有高度了解。另外,RTDS试验也只限于稳定控制装置研发和出厂验收阶段,无法对现场稳定控制装置进行测试。本测试系统提供的测试方法并没有追求达到RTDS的实时闭环测试的效果,旨在为现场系统级别的稳定控制系统的策略验证、逻辑判断提供简便易行的方法,在现场测试中受到了广泛的好评。

1 新型分布式区域稳定控制仿真测试系统

目前,电力系统分析计算软件已经发展得非常成熟,功能也越来越强大,可计算的系统规模也越来越大,可模拟几千个节点的电力系统;能够模拟的元件种类也很多,如换流变压器、SVC、SVG、TCSC等各种电力电子设备,还可模拟变压器的内部故障、励磁涌流、电流互感器饱和及电压互感器断线的暂态过程等,并且其仿真的正确性已经得到了公认。本文

利用 BPA、PSASP、PSCAD 等电力系统分析计算程序的强大功能来构造分布式稳定控制仿真测试系统。

分布式稳定控制仿真测试系统的结构如图 1 所示,其设计方案和工作原理如下:通过仿真后台的仿真软件对所涉及的电力系统进行故障仿真,故障仿真的数据通过仿真测试装置执行输出,仿真测试装置通过 GPS 装置保证输出的严格同步,从而将仿真的系统故障同步输入到各安装处的稳定控制装置,检验系统故障时各稳定控制装置的逻辑策略、动作情况等。整个系统包括仿真后台、HELP2000 稳定控制仿真测试装置(以下简称 HELP2000)和外部 GPS 时钟源 3 个部分。

1.1 仿真后台

采用通用的 PC 机或者工作站,安装 BPA、PSASP、PSCAD 等仿真软件,能够根据电力系统的网络模型,对电力系统的各种故障进行仿真,得到稳定控制装置所需的二次侧电流、电压量,通过程序对这些电流、电压数字值进行处理后,转变为 HELP2000 所需的数字量。通常 BPA 等软件的输出都是幅值、频率、相角信息,且间隔一定的时间(几十至几百毫秒)输出一个点,HELP2000 根据 BPA 等软件中输出的点的数据信息,定时实时计算故障模拟量,计算公式为:

$$S=A\cos(\omega t+d\omega dt\cdot t\cdot t/2+\phi)$$

其中, A 为幅值; $\omega=2\pi f$, f 为频率; t 为定时的间隔; ϕ 为相角。每周期输出 200 点的故障数据(可以根据测试系统的要求输出更多点),该数据通过 DA 转换变成交流模拟量信号,从而保证了故障过程中的暂态特性,满足稳定控制装置的系统测试要求。如果数据来源于 PMU 等录波数据,将根据录波点数的不同,采用拉格朗日插值将每周期的数据插值到每周期 200 点。

仿真后台的控制软件也可来自 PMU 或者稳定控制装置的 COMTRADE 格式的录波数据,装载到 HELP2000 后,再现实际系统的故障,验证稳定控制

装置的控制策略,分析动作逻辑。PMU 录波、现场装置录波数据用来测试稳定控制系统逻辑功能是非常有意义的,即使整个电网系统的结构、参数和运行方式发生大的改变,可能过一段时间也会恢复原样,而稳定控制系统对历史上曾经出现过的运行方式也需正确响应,因此该方法的实现现实中具有很重要的意义。

仿真后台采用跨平台 Qt 设计方案,通过网络方式对 HELP2000 和稳定控制装置进行分类管理控制。该仿真后台集成了变电站自动化系统,将稳定控制装置纳入到仿真测试系统的网络中,在系统仿真试验的过程中可以实时监控稳定控制装置的动作情况,根据稳定控制装置的动作情况动态调整系统的运行状态,形成准实时闭环测试系统。该系统受限于计算机和 BPA 等仿真软件的计算实时性,实际上是预先通过 BPA 仿真了稳定控制系统动作的各种情况,将各种仿真的数据(称之为故障状态模型)预先下载到 HELP2000 中,HELP2000 在输出的过程中实时检测稳定控制装置的动作接点情况,然后根据动作的不同调用不同的故障状态模型进行输出,因而并不是严格意义上的闭环仿真,只能称之为准实时闭环仿真。如果能将 BPA 等软件的模型算法放在测试装置中实时计算,并根据反馈接点调整算法,进行 DA 转换输出,才是严格意义上的闭环仿真,本文所设计的系统受软硬件水平限制,并从工程实际考虑,采用了文中所述的方法。

试验过程中,分布在各个变电站的 HELP2000 接入到统一的 GPS 对时网络中,各台 HELP2000 的系统时标严格同步;HELP2000 内部板卡将对时网络的定时信号精确解码,并转化为内部定时脉冲,保证内部板卡的步调严格一致;试验时各台 HELP2000 通过定时,在同一时间触发故障,后续各台 HELP2000 根据各自对接的稳定控制装置的反馈情况触发不同的故障状态。外部 GPS 对时和内部根据 GPS 信号解

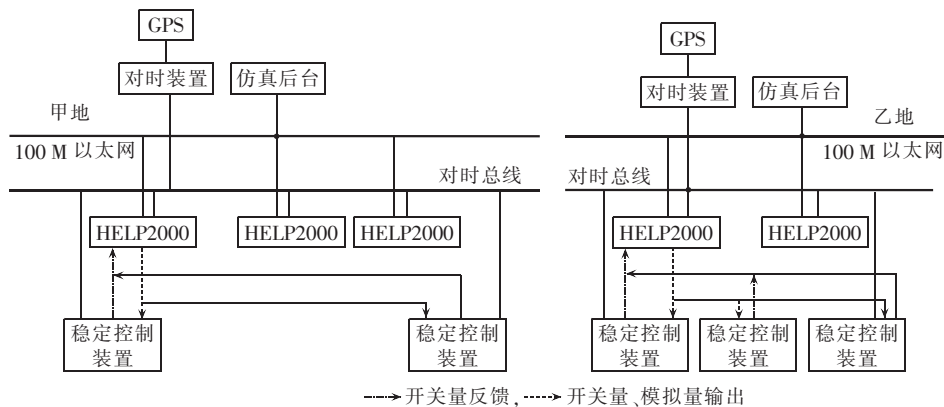


图 1 分布式稳定控制仿真测试系统结构图

Fig.1 Structure of distributed simulation & test system for stability control

码的秒脉冲,保证了分布在各个试验场所的 HELP2000 的协调工作和输出故障信号的同步。

试验时,预设的故障状态如图 2 所示。

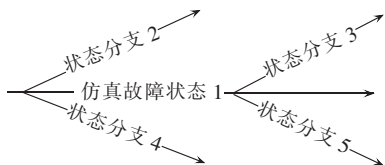


图 2 HELP2000 故障状态切换

Fig.2 Fault status switching of HELP2000

仿真故障状态 1 是故障运行的主态,在规定的时间内如果没有符合条件的接点动作,该状态将一直运行;状态分支的动作条件一般是动作接点和接点的动作时间,不同的接点触发不同的状态分支,相同的接点在不同的动作时间也会触发不同的状态分支。

试验时如果装置的动作和预设的故障状态分支都不一致,则存在装置动作的动作逻辑不对、反馈接点的接线出错、预设的状态分支不够完备 3 种情况。

此时,试验完毕后根据仿真后台收集的动作接点 SOE 报文和稳定控制装置动作报文,分析是否是前 2 种情况,一般如果仿真准备工作比较完备的话,试验即能验证稳定控制装置的策略和逻辑;当然也存在第 3 情况,这种情况下只能重新分析系统的结构,增加故障情形,重新进行试验。

试验结束后,系统根据稳定控制装置的动作报文、接点的动作时间,以及 HELP2000 输出故障的时刻,形成整组动作测试;另外还会形成完整的报告,并自动存档,供用户查阅。

1.2 HELP2000 稳定控制仿真测试装置

HELP2000 作为分布式稳定控制仿真测试系统故障的执行机构,与仿真后台通过以太网连接,支持 GPS 的 IRIGB、分脉冲、秒脉冲模式的对时。HELP2000 作为仿真测试系统的重要组成部分,其功能要求包括网络通信、故障计算(实时按照模型公式计算输出 BPA 等软件的故障数据,并根据动作接点切换故障状态模型)、GPS 对时、内部数据交换和同步等,十分复杂。故本系统采用了模块化的插件式设计思路,硬件采用了 POWEPC、DSP、FPGA、高速数据总线等多种解决方案,支持灵活扩展,而软件采用实时 Linux 操作系统,支持多线程调度,组成强大的软硬件系统,其结构如图 3 所示。各板卡均自带 CPU 并分布式排列在背板高速数据总线上;主控 CPU 采用高性能 POWERPC 芯片,嵌入式实时 Linux 操作系统,负责调度测试项目的进行,测试项目被主控 CPU 分解为与各扩展板卡相关的任务,通过数据总线下发到各扩展板;各扩展板卡的 CPU 采用高性能 DSP 芯片,

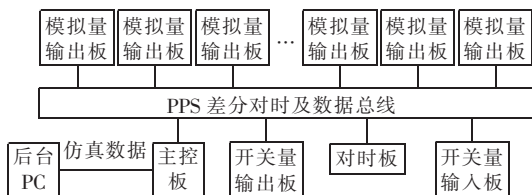


图 3 HELP2000 内部结构图

Fig.3 Internal structure of HELP2000

负责实时计算系统故障,而对时板卡采用先进的 FPGA 解决方案,对外部时钟源进行解码,并从中得到精准的对时脉冲,通过对时总线保证各扩展板任务执行的协调、一致。

1.3 外部 GPS 时钟源

将分布在同一厂站不同位置以及不同厂站(如图 1 中的甲地和乙地)的 HELP2000 和稳定控制装置纳入到统一的时标之下,HELP2000 以外部时钟源为基准,从中分解出精确的内部板卡同步脉冲,用于内部板卡之间的同步。通过此方式不同位置的 HELP2000 的多块板卡同步输出,对扩展区域的稳定控制装置进行同步测试,解决了区域稳定控制系统所涉及的设备较多、地理位置分散的难题,实现了系统级的测试。

2 新型区域稳定控制仿真测试系统的测试过程

a. 设定目标电网的故障情形,由 BPA、PSASP、PSCAD 等软件进行仿真计算,以设定的时间步长输出指定元件的状态量的振荡波形数据。

b. 利用仿真后台的数据转换工具将 BPA、PSASP、PSCAD 等软件的仿真计算结果、PMU 录波数据、稳定控制装置现场录波数据获得的系统动态过程数据进行转换,输出为 HELP2000 支持的数据格式。

c. 将 HELP2000 的模拟量、开关量输出连接至对应的稳定控制装置,将稳定控制装置的输出接点反馈至 HELP2000。

d. 通过稳定控制仿真测试软件平台将电力系统动态过程数据通过网络加载于分布在各处的 HELP2000,精确定时同步输出系统故障,如图 4 所示。

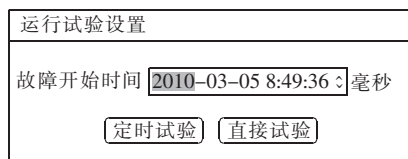


图 4 精确定时同步输出故障

Fig.4 Accurate timing and synchronous output of fault data

e. 实时监控仿真试验的全过程,获取并校验稳定控制装置的动作报文,检查策略执行结果,形

成完整的系统试验报告。

整个仿真过程如图 5 所示。

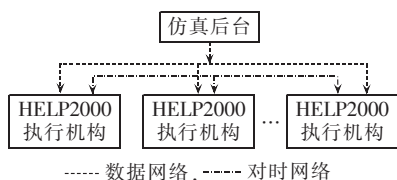


图 5 仿真测试系统图

Fig.5 Simulation & test system

仿真后台的主要工作如下：

- a. 调用 BPA/PSASP/PSCAD 等软件根据系统模型进行计算,以设定的步长输出制定元件各种动作情况下的故障状态数据模型;
- b. 处理各元件的故障状态模型数据,与稳定控制装置的动作情况建立关系;
- c. 将各种数据以统一的报文格式,通过数据网络下载到指定的 HELP2000,并定时运行故障。

HELP2000 的主要故障如下：

- a. 根据公式实时计算故障数据,并进行 DA 转换;
- b. 定时输出并实时监测稳定控制装置动作情况,切换不同的故障状态模型;
- c. 通过对时网络同步系统时间及计算时刻,保证系统中各测试装置输出同步。

3 稳定控制系统测试应用实例

本文分布式稳定控制仿真测试系统解决了当前区域稳定控制系统测试工作中存在的实际问题,在南方电网、新疆电网、大连石化电网等一大批实际工程中发挥了重要作用。

下面以南方电网高肇直流双极闭锁后稳定控制系统执行策略的验证为例说明新型区域稳定控制仿真测试的实现过程,各站点之间的通信连接关系如图 6 所示。

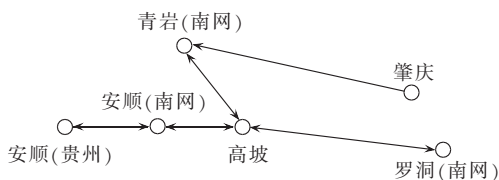


图 6 高肇直流双极闭锁策略测试

Fig.6 Test of dual-pole blocking strategy for Gui-Guang HVDC system

系统故障时,高坡站稳定控制装置判断出南方电网发生高肇直流双极闭锁故障后,高坡站稳定控制装置向安顺站(南网)、青岩站(南网)稳定控制装置发切机命令,向罗洞站(南网)稳定控制装置发切负荷命令,安顺站(南网)稳定控制装置将高坡站稳定控制装置发来的切机命令转发至安顺站(贵州)稳定控

制装置,肇庆站稳定控制装置将判断出的双极闭锁的开放信号发送至青岩站(南网)稳定控制装置。

系统测试时,在图 6 所示的 6 个接入站点中各配 1 台 HELP20000,6 台 HELP2000 通过 GPS 装置实现故障数据同步,每台 HELP2000 分别模拟高肇直流双极闭锁故障时各个接入点的运行状态,动态仿真了整个故障过程,试验过程中所有稳定控制装置均正确动作,验证了稳定控制策略与定值的正确性与合理性,为系统可靠运行提供了保障。

4 分布式稳定控制仿真测试系统的优势与不足

分布式稳定控制仿真测试系统的优势如下。

a. 与稳定控制系统的策略制定采用的数据源保持一致,充分利用现有的电力系统仿真计算技术的成果,不受系统规模、故障类型的限制,不需对目标电网进行任何简化、等值处理,可验证大规模电网的复杂策略,符合运行方式人员的日常工作习惯,且试验成本较低。

b. 试验过程简单,可应用于稳定控制系统的研发测试、出厂验收测试、现场调试测试、定期检修测试全过程;功能强大、界面友好的仿真软件将各种类型的故障数据处理完毕后,可存贮成各种故障菜单,既可用于系统级别的跨区域策略测试,也可进行单台稳定控制装置的研发测试、生产调试,灵活方便;可将 PMU 或现场稳定控制装置的录波数据在稳定控制系统上进行故障现场模拟,便于分析问题。

c. 稳定控制仿真测试装置 HELP2000 便携、可扩展,支持分布式部署,其输出的模拟量经过功率放大后,可加载于稳定控制装置的交流采样模块,构建多厂家稳定控制装置构成的稳定控制系统统一测试平台;同时稳定控制仿真测试系统提供 COMTRADE 格式的系统振荡数据,可与其他测试仪(如博电、昂立)基于 GPS 对时,构建统一测试平台。

d. 稳定控制仿真测试系统和稳定控制装置组成闭环系统,并处于同一 GPS 网络之中,具有统一的时标,根据稳定控制装置的动作接点和动作报文,结合可控的故障时刻,可以非常方便地测试稳定控制装置的整组动作时间。

e. 稳定控制仿真测试系统离线计算各种情况下的系统故障,可实时根据稳定控制装置的动作情况,动态切换系统运行状态,更加符合实际情况。

f. 与在线稳定控制系统相结合,取电力系统的真实运行状态数据进行稳定控制装置的策略研究和功能测试,可用来测试在线稳定控制系统实时更新的策略表,如图 7 所示。

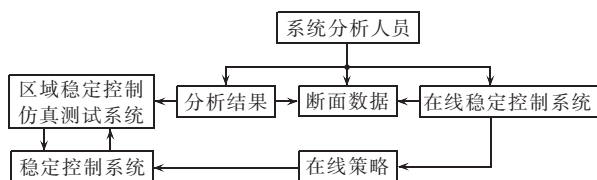


图7 新型区域稳定控制仿真测试系统与
在线稳定控制系统的结合

Fig.7 Integration of simulation & test system for regional
stability control and online stability control system

稳定控制仿真测试系统也存在一些不足,其所采用的闭环控制策略仅仅是对各种故障情形作了预设,根据装置的动作调取不同的故障进行输出,并没有根据装置的动作情况,实时反馈给故障仿真软件,重新仿真系统故障,因此并不是一种实时闭环系统,而仅仅是一种离线闭环系统。针对这些不足,将在后续的工作中结合实际的情况,给出更好的解决思路。

5 结语

本文在充分研究当前区域稳定控制系统测试工作中存在的实际问题的基础上,设计并开发了新型分布式区域稳定控制仿真测试系统,实现了大规模跨区域电力系统稳定控制系统的动态整组测试。工程实践表明,该测试系统可方便快捷地实现稳定控制系统的全面测试,提高了测试工作的效率和自动化程度,减轻了测试人员的工作强度,为确保稳定控制系统的安全可靠运行把关。

该测试系统具有良好的工程应用背景和广阔的市场推广前景,对类似控制系统的测试装置研发工作具有较高的参考价值和借鉴意义。

参考文献:

- [1] 王亮,王新宝,高亮,等. 基于故障场景的区域电网安全稳定控制系统测试方法[J]. 电力系统自动化,2007,31(18):39-42.
WANG Liang,WANG Xinbao,GAO Liang,et al. A fault scenario based method for the regional power grid security and stability control system test[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007,31(18):39-42.
- [2] 孙玉军,邵俊松,方勇杰,等. 稳定控制装置的标准化策略搜索技术[J]. 电力系统自动化,2006,39(22):53-56.
SUN Yujun,SHAO Junsong,FANG Yongjie,et al. Standardized decision searching technique of stability control devices[J]. Automation of Electric Power Systems,2006,39(22):53-56.
- [3] 孙光辉. 区域稳定控制中若干技术问题[J]. 电力系统自动化,1999,23(3):4-7.
SUN Guanghui. Techniques in regional stability control[J]. Automation of Electric Power Systems,1999,23(3):4-7.
- [4] 吴勇,周良松,张力晨,等. 安全稳定控制装置测试技术的研究[J]. 继电器,2005,33(10):49-52,56.
WU Yong,ZHOU Liangsang,ZHANG Lichen,et al. Research on test technology of security and stability control equipment [J]. Relay,2005,33(10):49-52,56.
- [5] 高亮,金华锋,宗洪良,等. RCS-992A 系列分布式区域安全稳定控制装置[J]. 电力设备,2004,5(5):73-76.
GAO Liang,JIN Huafeng,ZONG Hongliang,et al. RCS-992A distributed regional security and stability equipment[J]. Electrical Equipment,2004,5(5):73-76.
- [6] 张保会,钱国明. 发电厂安全稳定紧急控制装置的研制——装置及实验[J]. 电力自动化设备,2000,20(1):23-27.
ZHANG Baohui,QIAN Guoming. Development of a power plant security emergency control equipment—equipment and experiment [J]. Electric Power Automation Equipment,2000,20(1):23-27.
- [7] 傅旭,王锡凡,杜正春. 电力系统电压稳定性研究现状及其展望[J]. 电力自动化设备,2005,25(2):1-9.
FU Xu,WANG Xifan,DU Zhengchun. Survey of power system voltage stability study[J]. Electric Power Automation Equipment, 2005,25(2):1-9.
- [8] 葛大维,姜浩,徐光虎. 大区互联网稳控站分区联合(单站)调试的隔离[J]. 电力自动化设备,2011,31(4):147-150.
GE Dawei,JIANG Hao,XU Guanghu. Segregation measures in joint commissioning of stability control system for large-scale interconnected power systems[J]. Electric Power Automation Equipment,2011,31(4):147-150.
- [9] 荆朝霞,段献忠. 电力市场环境电力系统安全稳定控制系统面临的挑战[J]. 电力自动化设备,2001,21(9):49-53.
JING Zhaoxia,DUAN Xianzhong. Challenges of security control system in deregulated environment[J]. Electric Power Automation Equipment,2001,21(9):49-53.
- [10] 王宝华,杨成梧. FACTS 稳定控制策略综述[J]. 电力自动化设备,2000,20(2):50-53.
WANG Baohua,YANG Chengwu. A summary of stability control in FACTS[J]. Electric Power Automation Equipment,2000,20(2):50-53.
- [11] 许先华,徐宏涛,姜霄楠. 黑龙江 500 kV 电网安全稳定控制系统的实现[J]. 电力自动化设备,2008,28(3):96-98.
XU Xianhua,XU Hongtao,LOU Xiaonan. Security and stability control system of Heilongjiang 500 kV Power Grid[J]. Electric Power Automation Equipment,2008,28(3):96-98.
- [12] 余志文,白雪峰,郭志忠. 继电保护与稳定控制的一体化[J]. 电力自动化设备,2002,22(7):71-74.
YU Zhiwen,BAI Xuefeng,GUO Zhizhong. Study on the combination of relay and stability control system[J]. Electric Power Automation Equipment,2002,22(7):71-74.
- [13] 张保会,阎海山,钱国明. 发电厂安全稳定紧急控制装置的研制——原理及算法[J]. 电力自动化设备,1999,19(6):1-6.
ZHANG Baohui,YAN Haishan,QIAN Guoming. Development of power plant security emergency control equipment—theory and algorithm [J]. Electric Power Automation Equipment,1999,19(6):1-6.
- [14] 郭琦,韩伟强,曾勇刚. 电网安全稳定控制技术实时仿真试验研究平台:(一)架构与特征[J]. 电力系统自动化,2012,36(20):1-5.
GUO Qi,HAN Weiqiang,ZENG Yonggang. Security and stability control technology test and research platform based on real-time simulation part one framework and characteristics[J]. Automation of Electric Power Systems,2012,36(20):1-5.
- [15] 郭琦,韩伟强. 电网安全稳定控制技术实时仿真试验研究平台:

(二):应用实例[J]. 电力系统自动化,2012,36(21):19-23.

GUO Qi,HAN Weiqiang. Security and stability control technology test and research platform based on real-time simulation part two application examples[J]. Automation of Electric Power Systems,2012,36(21):19-23.

[16] 田芳,董春晖,李亚楼. 电力系统运行及安全监控仿真系统的研究与开发[J]. 中国电机工程学报,2011,31(28):80-86.

TIAN Fang,DONG Chunhui,LI Yalou. Power system operation and security monitoring simulation system[J]. Proceedings of the CSEE,2011,31(28):80-86.

作者简介:



李兴建

李兴建(1977-),男,山东潍坊人,高级工程师,硕士,通讯作者,主要研究方向为继电保护测试(E-mail:lixj@nari-relays.com);

夏彦辉(1982-),男,河南尉氏人,工程师,硕士,主要研究方向为电力系统稳定分析与控制(E-mail:xiayh@nari-relays.com);

陈松林(1969-),男,江苏南京人,教授级高级工程师,主要研究方向为电力系统稳定分析与控制(E-mail:chensl@nari-relays.com)。

Development and application of distributed simulation & test system for stability control system

LI Xingjian,XIA Yanhui,CHEN Songlin,REN Zuyi,SHEN Quanrong,WANG Yanguo
(NARI-Relays Electric Co.,Ltd.,Nanjing 211102,China)

Abstract: A distributed simulation & test system for regional stability control system is developed to simplify its site test,which is composed of simulation background,stability control simulation & test devices and external GPS. The faults of power system are simulated by the simulation software of simulation background and the simulative results are outputted by the simulation & test devices. Because the simulation & test devices are strictly synchronized by external GPS,the simulation data are thus inputted synchronously to the distributed stability control devices to verify their logic strategies and actions during system faults. The validity of the developed system is verified by the site application and its superiorities and deficiencies are summarized.

Key words: electric power systems; regional stability control; dynamic full-set test; system simulation test; distributed system; closed loop test; computer simulation

(上接第162页 continued from page 162)

Custom switching technology to improve reliability and real-time performance of information flow in smart substation

WANG Haizhu¹,CAI Zexiang¹,ZHANG Yanxu¹,SHAO Xiangchao¹,LI Yiquan²,ZHU Zhihan³

(1. College of Electrical Engineering,South China University of Technology,Guangzhou 510640,China;

2. Guangdong Power Dispatch Centre,Guangzhou 510600,China;

3. Guangzhou PtSwitch Co.,Ltd.,Guangzhou 510665,China)

Abstract: Based on OPNET simulation platform,the deficiency of general switching technology applied in the switching of smart substation information is analyzed from different aspects;transmission delay jitter,packet loss,transmission path,etc. An implementation technology of custom switching is proposed to improve the reliability and real-time performance of smart substation information flow,which hierarchically dispatches the messages based on the multi-layer subqueue with MPLS(Multiple Protocol Label Switching),dynamically allocates the buffer based on the buffer division,supports multiple paths for message transfer based on the path loss. A custom switching model is established on OPNET simulation platform for an actual smart substation,where different information flows share a network,and the simulative results show that,the switching resources are reasonably allocated and the proposed switching technology is feasible and effective.

Key words: smart substation; custom switching; information flow; real-time; reliability; communication