

DOI:10.12158/j.2096-3203.2019.03.011

大电网大规模稳控系统广域测试接口装置的设计与应用

郭琦¹, 夏尚学², 朱益华¹, 常东旭¹, 任祖怡²

(1. 南方电网科学研究院, 广东 广州 510080; 2. 南京南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211102)

摘要:为解决在实验室无法完成大规模稳控系统功能测试的问题,设计了一种与现场在运稳控装置接口的数据转换装置。针对此装置的整体设计方案进行了详细的介绍,并结合典型的系统应用,进一步阐述了其在仿真试验中的应用方案。通过该装置实现了仿真实验室实时数字仿真仪(RTDS)搭建的试验系统与远方在运稳控装置的信息交互,从而将试验系统扩展到现场在运设备,完成了实验室对现场整个在运安全稳定控制系统的完整闭环测试。该装置的设计方案、远程测试方法及系统应用方案为后续大型稳控系统的远程仿真测试提供了试验基础。

关键词:广域远程测试;数据转换接口装置;RTDS;闭环测试

中图分类号:TM743

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2019)03-0074-06

0 引言

“十三五”期间,随着特高压交直流电网快速发展,电网“强直弱交”矛盾突出,电网稳定运行面临较大风险,各大电网均配置了电网安全稳定控制系统(简称“稳控系统”),构建大电网综合防御体系^[1],作为电网安全稳定的第二道防线。稳控系统构成及功能配置复杂,多站点相互协同难度大,测量、策略、定值、通信和二次回路等任何一个环节的故障均可能造成稳控装置拒动或误动,进一步造成主网稳定破坏。目前稳控系统已经形成了出厂测试、现场联调等静态模拟和动态仿真试验^[2-3]等多个阶段的综合性验证体系,实现了稳控系统的多重可靠性校验,其中实时数字仿真仪(RTDS)实时仿真系统能够模拟一次系统的动态特性并能够按照严格的时序输出模拟量和开关量信息,发现稳控系统在常规静模试验中不能暴露的深层次缺陷,因此得到了广泛应用^[4-10]。

在目前的试验体系中,RTDS仿真试验与现场联调试验完全处于2个分割的阶段,RTDS仿真试验虽具有能够进行实时闭环试验、模拟复杂故障时序并试验整个系统的动态性能等一系列优点,但仍然无法暴露现场稳控系统可能存在的隐性故障,且试验系统根据具体的工程搭建,不具备重用性,仿真试验的效率较低^[4-6];另一方面,测试系统限于试验厂地和试验装置设备数量,不能完全模拟实际运行的安全稳定控制系统,只能对系统的部分进行动态仿真,有时还要对现场运行的装置软件进行调整

以适应试验的要求,试验结果的可信度有限。

基于电网大规模稳控系统测试试验的需求开展稳控系统的远程试验研究,提出了基于RTDS和电力通信网络的远程试验系统与稳控系统的广域闭环全过程动态测试关键技术,开发实现仿真实验室RTDS试验系统与现场在运设备信息交互的试验接口装置,构建面向跨区域多类型稳控系统的远程综合试验平台;使得RTDS动态实时闭环仿真试验扩展到现场实际稳控系统,彻底解决RTDS仿真试验与现场装置相互割裂、试验系统搭建困难和可重复利用率等难题。系统设计充分考虑了实际电信号传送延时等因素,大大提高仿真试验的精度和试验结果真实性与可信度。

1 广域远程测试数据转换装置的功能设计

为了实现仿真实验室RTDS系统和安装于现场的被测的稳控系统设备之间的双向信息交互和闭环测试,需要在RTDS系统和被测试设备之间增加一个数据接口转换装置,作为二者的媒介。该装置具备如下几个方面的功能:

(1) 实现与RTDS试验系统的模拟量接口,具备采集元件电压、电流、功率、频率等数据及故障判别的功能;

(2) 实现与RTDS试验系统的开关量接口,具备开关位置、直流极(阀组)运行状态、跳闸信号等开关量采集和跳合闸、闭锁直流、提升直流、回降直流等开关量的输出功能;

(3) 具备与现场在运设备通信的能力,将RTDS系统实时仿真结果输出的模拟量和开关量等信号转换成现场被测试装置可以识别的数字信号,通过电力系统通信网传输到现场在运设备,替代被

收稿日期:2019-01-09;修回日期:2019-02-22

基金项目:中国南方电网有限责任公司科技项目(ZBKJXM-20180034)

测试设备实际采集的模拟量和开关量,并触发装置的逻辑或策略动作出口;

(4) 被测试设备测试时的动作信息通过通信通道回传给远程测试转换装置,经转换后以动作接点形式反馈回 RTDS 系统,形成实际上的闭环测试。

为了增加系统的重用性,RTDS 系统与仿真转换装置的接口采用标准化设计:仿真转换装置与被测试设备之间采用标准的通信协议,每台转换装置可同时与 $m(m \geq 2)$ 个现场设备进行通信,即可以实现每台转换装置同时对 m 个控制保护设备进行的仿真测试。在 RTDS 系统 RACK 规模允许的情况下,可以由 n 台相同的转换装置实现系统内($n \times m$) 个厂站的保护控制设备联合仿真测试,具备良好的系统扩展性,如图 1 所示。在系统规模较大,超出一套转换装置所能采集的数据量时,测试系统可配置多套标准的、相同的转换装置与各站的通信,而不需要新开发装置软件,从而能方便地实现系统扩展,适应于全网 RTDS 远程仿真测试的需要。

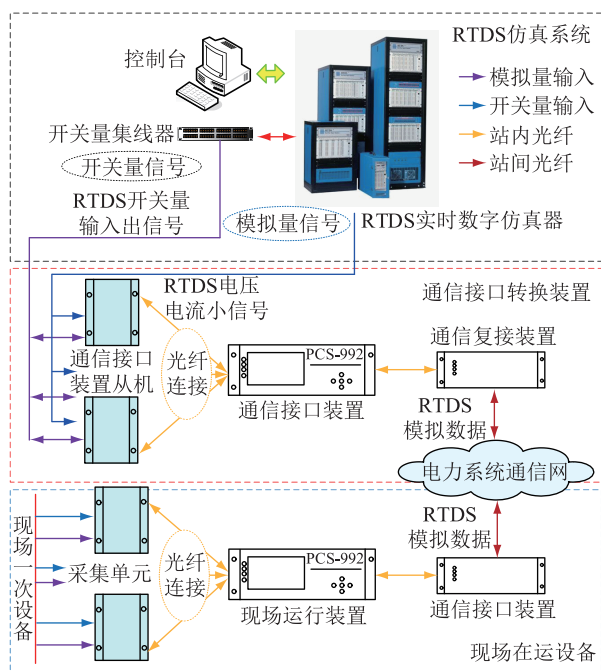


图 1 基于 RTDS 的广域测试试验系统信息流

Fig.1 Information flow of wide area measurement system based on RTDS

2 广域远程测试数据转换装置的接口设计

2.1 RTDS 仿真系统与数据转换装置接口

根据设计要求,RTDS 系统提供至少 48 组模拟量小信号到数据接口转换装置,数据转换装置采集、计算和判断得到功率、投停、突变量启动和跳闸信息,并远传到现场安全稳定控制装置;直流极或阀的运行状态信息由 RTDS 系统的开关量集线器提

供空接点开出对应到数据转换装置的开入,并远传至现场装置;同时数据转换装置能够接收现场装置的解列线路信息或直流调制命令,并以开关量输出的形式传送给 RTDS 仿真测试系统,接口示意如表 1 所示。数据接口转换装置对每个被测试厂站均配置了模拟量配置参数、开入量配置参数和故障类型选择参数,使得远程测试转换装置采集的模拟量与被测试厂站装置的模拟量实现一一对应^[7]。

表 1 RTDS 仿真系统与数据转换装置接口

Table 1 Interface between RTDS and data conversion device

RTDS 仿真系统 → 数据转换装置	数据转换装置 → RTDS 仿真系统
多个间隔的三相电压电流小信号	RTDS 系统对应开关量输入 交直流运行状态和开关位置信号
交直流运行状态和开关位置信号	

2.2 数据转换装置和现场装置通信接口

数据转换装置与现场被测试装置通信接口由 1 台多路通信复接装置及相关的通信附件组成,提供多达 22 路的 2 M 专用光纤和复接接口,接口方式为 G.703,通信帧长为 12 words,测试转换装置的通信地址固定为 100。

根据 RTDS 系统能够提供的交流和直流仿真资源,并结合目前稳控系统的通用通信方式,对数据进行综合规划,形成的通信接口协议见表 2。

表 2 数据转换装置和现场装置通信接口协议

Table 2 Communication protocol between data conversion device and real operation devices

转换装置 → 现场装置	现场装置 → 转换装置
报文帧头	报文帧头
交流间隔的运行信息	交流命令 1
交流间隔的突变量启动信息	交流命令 2
交流间隔的跳闸信息	直流命令 1
直流极 1 运行及故障信息	直流命令 2
直流极 2 运行及故障信息	备用
功率序号(0—2)	备用
功率 1	备用
功率 2	备用
功率 3	备用
功率 4	备用
校验和	校验和

表 2 中,通信帧内容表述如下。

(1) 报文帧头(发送、接收报文帧)。一般由特征码和装置地址组成,用于报文类型和通信地址识别。

(2) 交流间隔的运行、突变量启动和跳闸信息。数据转换装置通过采集 RTDS 系统提供的电压电流

小信号量,计算功率,判别每个交流元件的运行、电流或功率突变量启动以及跳闸信息等,并远传到被测试的现场安全稳定控制装置。

(3) 直流极或阀组的运行及故障信息。数据转换装置通过采集 RTDS 系统输出的直流极或阀组的运行信息,包括极闭锁、解锁、直流紧急停运(ESOF)信号等,规整并远传到被测试的现场安全稳定控制装置。

(4) 交流命令。主要是现场安全稳定控制装置发送的交流电网的切机、切负荷或解列命令。

(5) 直流命令。主要是现场安全稳定控制装置发送的直流调制信号:如提升直流功率(RunUp)、回降直流功率(RunBack)以及直流功率限制(Power-Limit)等命令。

(6) 报文校验和(发送、接收报文帧 Word12)。对通信内容进行求和和校验,用于保证通信帧数据的完整性和有效性。

数据转换装置还设置“测试站 x 通道延迟时间”参数,在仿真转换装置和测试站 x 之间,由软件实现的固定通道延迟,以研究校验远程测试试验平台在有通道延迟的情况下对仿真试验准确性和可靠性的影响。

2.3 现场装置通信接口模块设计

为了配合广域远程测试试验系统,现场被测试保护控制装置软件需要集成一个标准化的远程测试模块,该模块能够通过控制字或软压板进行功能投退。测试模块的功能为:

(1) 接收 RTDS 试验系统提供的模拟量和开关量信息,替换设备实际采集的模拟量和开关量,并与现场稳控装置的实际采集量一一对应;

(2) 当装置在测试模块投入且由试验数据触发动作后,将装置测试动作出口情况发送给 RTDS 数据转换装置,并反馈回 RTDS 系统;

(3) 远程测试模块的投退。为了有效地区分实际数据和从转换装置获取的数据,需要由数据转换装置下发一个“xx 站远程测试投入”的控制信息,当且仅当该控制信息投入且装置的“试验压板”投入时,才允许取用远程测试转换装置的数据。

3 广域测试试验系统典型应用实例

为了进一步描述转换装置的重要作用,以楚穗直流稳控系统为例说明试验系统的有效性。

3.1 楚穗直流控制策略简介

±800 kV 楚穗特高压直流在楚雄换流站、穗东换流站、小湾电站、金安桥电站等厂站装设稳控装

置构成楚穗直流配套稳控系统。楚雄换流站稳控装置实现与楚穗直流极控系统的接口,采集直流系统的开入量和模拟量,判断直流系统的运行状态,同时接收罗平变安稳装置发来的南方电网交流系统的运行方式信息和本站孤岛装置判别的状态。当发生单阀或多阀闭锁故障时,根据事故前南方电网交流系统的运行方式和相关的交流断面功率,实施切除云南电网发电机组和广东电网负荷的措施,保证南方电网安全稳定运行^[10-15]。楚穗直流远程广域仿真测试系统如图 2 所示。

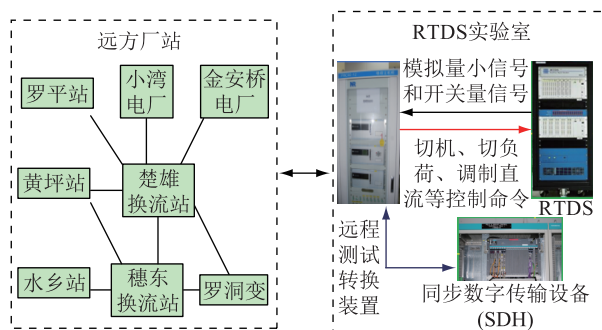


图 2 楚穗直流广域测试试验系统

Fig.2 Wide area test system based on RTDS of Chuxiong—Suidong DC

3.2 试验系统的接口对应关系

根据楚穗直流稳控系统的控制策略,设计了 RTDS 系统、数据转换装置和现场装置的数据传输对应关系,如图 3 和图 4 所示。

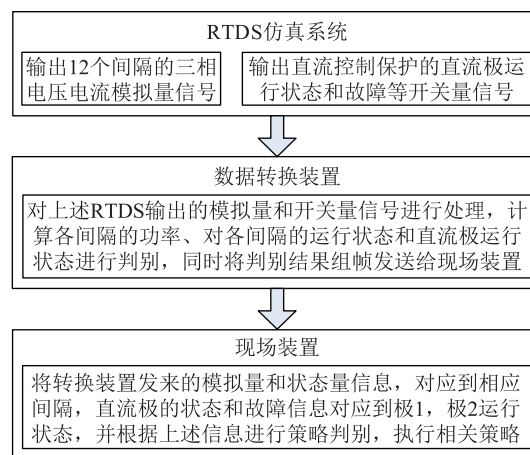


图 3 RTDS 仿真系统到现场装置数据传输

Fig.3 Data transfer diagram from RTDS system to remote equipments

3.3 试验系统测试动作结果

文中以楚穗直流的联网方式阀组闭锁控制策略为例,详细分析试验系统的测试动作情况。阀组闭锁的控制策略为:直流双极闭锁或 3 个以上阀组故障执行切除小湾电厂或金安桥电厂机组的控制措施。RTDS 实验室内模拟楚穗直流 4 个阀组的电

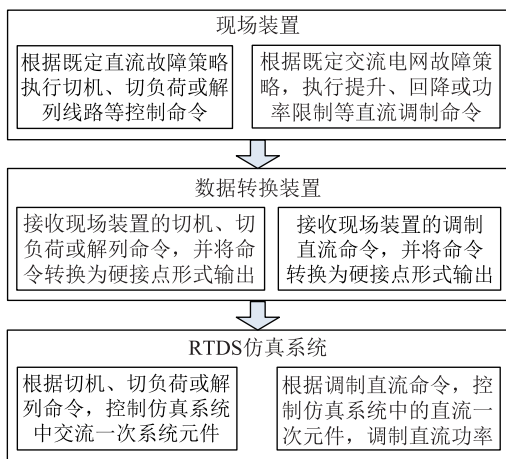


图4 现场装置到 RTDS 系统数据传输

Fig.4 Data transfer diagram from remote equipments to RTDS system

气量和紧急停运等开关量信息^[16-18], 模拟直流闭锁故障切机策略动作, 经数据转换装置转发至现场在运的楚雄换流站装置, 楚雄换流站执行相应控制措施, 各站动作示意如图5所示。

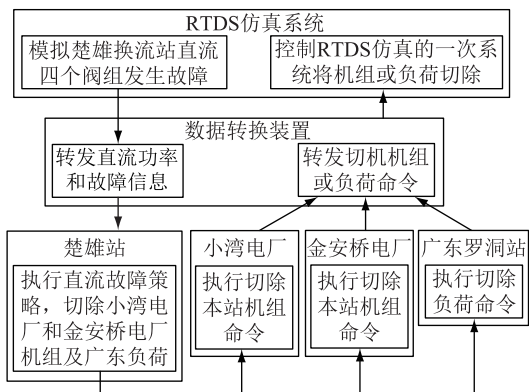


图5 楚雄站策略动作过程

Fig.5 Strategic action process of Chuxiong station

为了展现试验过程, 转换装置、稳控装置和RTDS系统其他直流功率分别进行了试验录波, 如图6—图8所示。

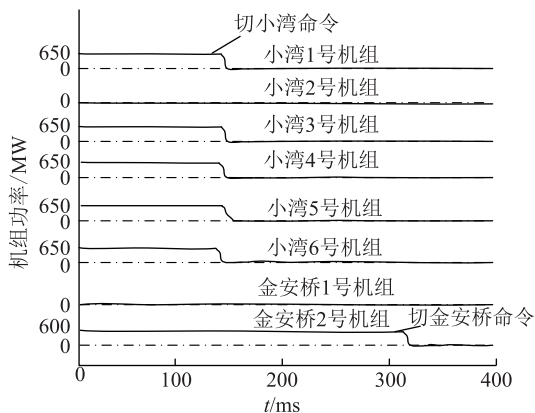


图6 转换装置试验录波

Fig.6 Record of the data conversion device

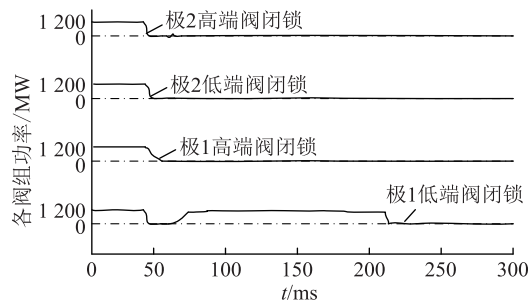


图7 楚雄换流站装置试验录波

Fig.7 Record of the device in Chuxiong station

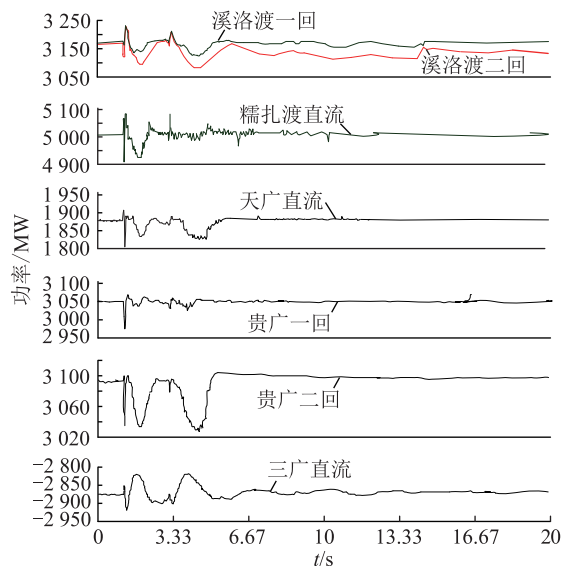


图8 RTDS 试验系统直流系统录波

Fig.8 Record of the DC system of RTDS

根据各装置的相对动作时间分析发现, 远程测试RTDS仿真比传统RTDS仿真测试的整组动作时间多63ms。传统RTDS仿真整组动作时间为105ms, 而远程测试的整组动作时间约为168ms, 图9展示了RTDS远程测试仿真的时序。

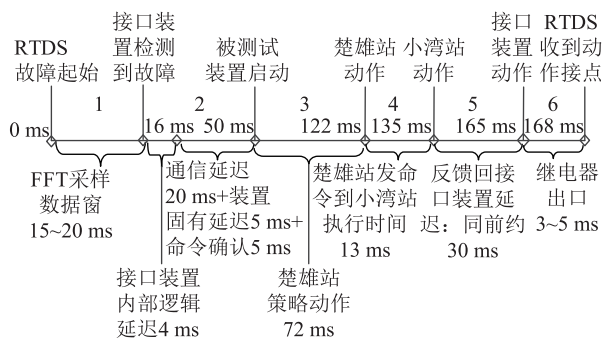


图9 RTDS 远程仿真测试时序

Fig.9 Sequence diagram of Wide area test system based on RTDS

从图9可以看出, 阶段2,5是远程测试RTDS仿真相对于传统RTDS仿真测试特有的, 主要包含: 远程测试仿真为了模拟现场实际加入各站通道的

延迟(各 20 ms),收发共 40 ms;现场装置为了确保故障信息的正确性进行的命令确认,5 ms;数据转换装置内部数据收发转换的固有延时 10~14 ms;通信复接转接设备内部延迟(收和发)4~6 ms。远程仿真测试试验策略动作结果正确,动作后系统保持了稳定,相对于传统 RTDS 仿真试验,动作结果一致,但整组动作时间多约 63 ms,通过比对直流近区小湾电厂未被切除机组的功率曲线,如图 10 所示,2 次试验基本一致。而考虑到实际稳控系统执行站端的机组断路器动作时间约 40~60 ms,远程测试的试验结果更与现场稳控系统的实际控制效果相符。

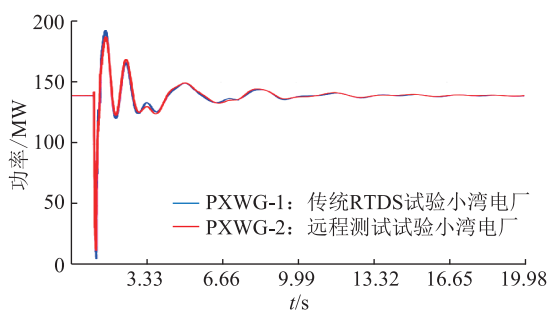


图 10 直流近区机组功率曲线对比

Fig.10 Comparison of the generation power curve of HVDC near zone

4 结语

基于 RTDS 广域远程测试安稳试验平台中数据转换接口装置,硬件配置方面增减灵活,扩展性强,软件方面可通过参数的灵活配置实现实验室一次接线与软件参数的灵活匹配,实验室内部的数据连线只需连接一次,大大减少了人力资源的浪费。系统接口设计中充分利用 RTDS 远程测试安稳试验平台转换装置的软硬件资源,通过标准模块化的优化设计,增强其通用性和复用性。多厂站联合仿真时,通过转换装置一对多的标准化规约设计,使系统的仿真能力大为增强和优化。

文中以楚穗直流安全稳定控制系统为典型案例,详细研究了具体实现时的系统配置、接口设计、测试试验验证和仿真比对等工作,试验结果证明:安稳的动作情况同传统的 RTDS 仿真测试完全一致,安稳装置的动作延时在可控范围内,控制措施能够保证系统稳定运行,达到预期目的,该装置的设计和远程测试方法的应用为后续大规模稳控系统的远程仿真测试提供了试验基础。

参考文献:

[1] 李明节. 大规模特高压交直流混联电网特性分析与运行控制[J]. 电网技术,2016(4): 985-991
LI Mingjie. Characteristic analysis and operational control of

large-scale hybrid UHV AC/DC power grids[J]. Power System Technology,2016(4):985-991.

- [2] 李战鹰,韩伟强,郭琦,等. 基于广域自适应多直流协调控制的 RTDS 仿真研究[J]. 南方电网技术,2008,2(2):58-61.
LI Zhanying, HAN Weiqiang, GUO qi, et al. RTDS simulation study on wide area adaptive coordinated control of multi HVDC system[J]. Southern Power System Technology,2008,2(2):58-61.
- [3] 高鹏,王超,曹玉胜,等. RTDS 在电力系统稳定控制研究中的应用[J]. 江苏电机工程,2007,26(5):34-38.
GAO Peng, WANG Chao, CAO Yusheng, et al. Application of RTDS in power system stability control research[J]. Jiangsu Electrical Engineering 2007,26(5):34-38.
- [4] 李兴建,夏彦辉,陈松林,等. 分布式稳定控制仿真测试系统的研制及应用[J]. 电力自动化设备,2014,34(5):163-168.
LI Xingjian, XIA Yanghui, CHEN Songlin, et al. Development and application of distributed stability control simulation test system[J]. Electric Power Automation Equipment,2014,34(5):163-168.
- [5] 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 Xinbo, GAO Liang, et al. Test method of regional power grid security and stability control system based on fault scenario[J]. Automation of Electric Power System,2007,31(18):39-42.
- [6] 蔡海青,郭琦,张建设,等. 基于 RTDS 的数字与物理混合仿真接口设计与实现[J]. 南方电网技术,2015,9(11):52-57.
CAI Haiqing, GUO Qi, ZHANG Jianshe, et al. Design and implementation of digital and physical hybrid simulation interface based on RTDS[J]. Southern Power System Technology,2015,9(11):52-57.
- [7] 任祖怡,左洪波,吴小辰,等. 用于安全稳定控制的高压直流极闭锁判据[J]. 电力系统自动化,2007,31(10):41-44.
REN Zuyi, ZUO Hongbo, WU Xiaochen, et al. HVDC pole blocking detection for security and stability control[J]. Automation of Electric Power System,2007,31(10):41-44.
- [8] 毕天姝,余浩,张道农. 基于 RTDS 的广域保护与控制通用测试系统[J]. 电力科学与技术学报,2011,26(2):4-9.
BI Tianshu, YU Hao, ZHANG Daonong. Testing platform of wide area protection and control system based on RTDS[J]. Journal of Electric Power Science and Technology,2011,26(2):4-9.
- [9] 高鹏,黄乐,王超. 基于 RTDS 实时闭环仿真系统的交直流过电压建模研究[J]. 江苏电机工程,2009,28(4):5-8.
GAO Peng, HUANG Le, WANG Chao. Preliminary discussion on over-voltage studies of rtds-based real-time closed-loop AC/DC simulation system[J]. Jiangsu Electrical Engineering,2009,28(4):5-8.
- [10] FORSYTH P, KUFFEL R, WIERCKX R, et al. Comparison of transient stability analysis and large-scale real time digital simulation[C]//Power Tech, IEEE Porto,2001.
- [11] 王祥旭,郭春林,肖湘宁,等. 基于 RTDS 的±800 kV 特高压

- 直流输电系统的建模与仿真[J]. 华东电力, 2011, 39(3):335-339.
- WANG Xiangxu, GUO Chunlin, XIAO Xiangning, et al. RTDS-based modeling and simulation of ± 800 kV UHVDC transmission system[J]. East China Electric Power, 2011, 39(3):335-339.
- [12] 郭思源, 李辉, 徐浩, 等. 基于 RTDS 数模仿真平台的 ± 800 kV 酒湖特高压直流输电系统建模[J]. 湖南电力, 2017, 37(3):11-15.
- GUO Siyuan, LI Hui, XU Hao, et al. Modeling of ± 800 kV Jiu-hu UHVDC transmission system based on RTDS[J]. Hunan Electric Power, 2017, 37(3):11-15.
- [13] 胡铭, 卢宇, 田杰, 等. 特高压直流输电系统实时数字仿真研究[J]. 电力建设, 2009, 30(7):20-23.
- HU Ming, LU Yu, TIAN Jie, et al. Simulation of ± 800 kV UHVDC transmission system based on RTDS[J]. Electric Power Construction, 2009, 30(7):20-23.
- [14] 张曼, 许文超, 牛涛, 等. 特高压直流对 500 kV 变压器直流偏磁的影响分析[J]. 电力工程技术, 2017, 36(6):78-83.
- ZHANG Man, XU Wenchao, NIU Tao, et al. Influence of HVDC systems on 500 kV transformer DC Magnetic Bias[J]. Electric Power Engineering Technology, 2017, 36(6):78-83.
- [15] 高鹏, 赵中原, 田杰, 等. 基于 RTDS 和实际控制系统 ± 800 kV 直流输电系统仿真[J]. 中国电力, 2007, 40(10):33-37.
- GAO Peng, ZHAO Zhongyuan, TIAN Jie, et al. Simulation of ± 800 kV DC transmission system based on RTDS and actual congrol equipment[J]. Electric Power, 2007, 40(10):33-37.
- [16] 郭琦, 韩伟强, 贾旭东, 等. 云广直流输电工程安稳装置的 RTDS 试验方法研究[J]. 南方电网技术, 2010, 4(2):43-46.
- GUO Qi, HAN Weiqiang, JIA Xudong, et al. Study on the RTDS simulation test of the system stability control of Yunnan-Guangdong DC transmission project [J]. Southern Power System Technology, 2010, 4(2):43-46.
- [17] 马玉龙, 肖湘宁, 陈琦, 等. 用于 HVDC 控制保护系统闭环测试的 RTDS 建模[J]. 电力自动化设备, 2006, 26(2):25-27.
- MA Yulong, XIAO Xiangning, CHEN Qi, et al. Modeling of HVDC in RTDS for closed loop system test[J]. Electric Power Automation Equipment, 2006, 26(2):25-27.
- [18] 韩英铎, 吴小辰, 吴京涛. 电力系统广域稳定控制技术及工程实验[J]. 南方电网技术, 2007, 1(1):1-8.
- HAN Yingduo, WU Xiaochen, WU Jingtao. Research and experiment of wide-area stability control techniques in electric power systems[J]. Southern Power System Technology, 2007, 1(1):1-8.

作者简介:



郭琦

郭琦(1979),男,博士,教授级高级工程师,研究方向为电力系统稳定分析与控制和直流控制保护仿真分析(E-mail:guoqi@csg.cn);
夏尚学(1977),男,硕士,高级工程师,从事电力系统稳定控制技术研究工作;
朱益华(1988),男,硕士,工程师,从事电力系统稳定控制和直流控制保护仿真分析相关工作。

Design and application of interface device for wide area remote testing of large scale power system security and stability control system

GUO Qi¹, XIA Shangxue², ZHU Yihua¹, CHANG Dongxu¹, REN Zuyi²

(1. Electric Power Research Institute, CSG, Guangzhou 510663, China; 2. NR Electric Co., Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: In order to solve the problem that the large-scale security and stability control system can not be tested in the laboratory, a data conversion device is designed to interface with the on-site operation stability control device, which realizes the information exchange between the RTDS test system of the simulation laboratory and the remote operation equipment. The overall design of the data interface conversion device is introduced in detail, and combined with the typical application of the device. The application method and practical application of the data conversion device in the wide area remote testing system based on RTDS are further elaborated, extends the test system to the on-site operation equipment. The laboratory's present situation is realized, and the closed loop test of field security and stability control system is completed. The design of the device and the application of remote test method provide the experimental basis for the remote simulation test of the the large-scale security and stability control system.

Keywords: wide area remote test; data interface conversion device; RTDS; closed loop test

(编辑 钱悦)