

基于 RTDS 的备自投装置的数模试验研究

刘涛¹, 杜明¹, 时燕新¹, 刘东超²

(1. 天津市电力公司技术中心继电保护试验室, 天津 300384; 2. 南京南瑞继电电气有限公司, 江苏 南京 211102)

摘要: 提出了基于 RTDS 的备自投装置数模试验方案。简述了实时数字模拟试验系统应用于继电保护装置及二次设备检测工作的现状, 分析了使用 RTDS 开展备自投装置数模试验的必要性。详细介绍了一种应用 RTDS 对备自投装置进行测试的实验方案, 包括试验模型、硬件接线以及试验项目的设计。根据该方案进行了备自投装置数模试验, 并将试验中出现的主要问题进行了分析, 试验结果表明, 应用此方案可以对备自投装置进行较为全面的考察。

关键词: RTDS; 备自投; 数模试验; 保护装置检测; 试验方案

Research on automatic back-up power supply device by RTDS

LIU Tao¹, DU Ming¹, SHI Yan-xin¹, LIU Dong-chao²

(1. Tianjin Electric Power Corporation Technology Center Relay Lab, Tianjin 300384, China;

2. Nanjing NARI-Relays Electric Co., Ltd, Nanjing 211102, China)

Abstract: This paper presents a scheme of testing automatic back-up power supply device based on RTDS. Firstly, it sketches the present situation of protective relaying and secondary equipment test using digital dynamic simulation system, and explains the necessity of testing automatic back-up power supply device based on RTDS. Secondly, it designs a method of testing automatic back-up power supply device with RTDS, including test model, system connection mode and test items. Last, it introduces and analyzes the problems in the test. The results demonstrate that the scheme proposed has a promising application in the inspection of automatic back-up power supply device.

Key words: RTDS; automatic back-up power supply device; digital dynamic simulation test; protective relaying test; test scheme

中图分类号: TM762 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)08-0123-05

0 引言

为了加强天津电网继电保护及其安全自动装置的技术监督、入网管理等工作, 完善继电保护及其安全自动装置的试验手段, 提高天津电网的安全稳定运行水平, 天津市电力公司引进了实时数字模拟系统 (real-time digital system, RTDS), 建立了继电保护与自动装置模拟试验平台^[1], 并邀请了南瑞继保、许继电气、国电南自、北京四方等十一个厂家进行包括变压器保护、简易母差、备自投等新型号、新版本装置的入网试验。

RTDS 及其仿真支持软件的灵活性构筑一个相对固定的继电保护测试分析平台, 不失为一种有效的手段。一些省网公司已经使用 RTDS 开展了线路保护装置^[2-4]、母差保护装置^[5]、变压器保护装置^[6]数模试验的研究。对于备自投装置, 目前国内通常只是通过静态试验来验证装置本身的逻辑, 很少从

电网的角度考虑问题, 致使备自投装置正确动作率较低^[7-8]。因此开展备自投装置的数(动)模试验, 模拟实际电力系统中各种运行方式, 考核各种故障和运行状态对备自投动作行为的影响, 是十分必要的。

本文参考 DL/T871-2004《电力系统继电保护产品动模试验》^[9], 结合天津电网具体特点, 建立了基于 RTDS 的备自投装置数模试验系统模型, 设计了试验方案, 在各种工况下测试了各厂家的备自投装置的动态特性并加以分析。实践证明, 本文设计的系统模型能够满足试验的需要, 方案具有较高的实用性和工程指导意义。

1 试验方案考虑的主要性能指标

备自投装置的主要性能指标是确定试验方案的主要因素, 也是不同产品之间考查比较的项目。因此在确定试验项目之前, 有必要对目前备自投装置

的主要性能指标^[10]作一小结。

①当工作母线上的电压低于检无压定值，并且持续时间大于时间定值时，备自投装置方可起动。备自投的时间定值应与相关的保护及重合闸的时间定值相配合。

②充电放电逻辑。各地区对备自投装置充放电逻辑要求大体一致，但细节要求（如延时等）不尽相同。天津地区的要求为，检一段母线三线电压无压且本段无流，同时检另一段母线任一线电压有压，延时（天津地区延时为5 s）跳无压母线的进线开关，确认此开关跳闸后，延时（天津地区延时为0.1 s）投入桥开关、分段开关或母联开关；如果此时另一段母线也无压，闭锁自投装置（此时为闭锁条件，不给自投装置放电，当母线再次有压，满足自投条件时，自投装置动作），当检测母线无压延时超过15 s后，给自投装置放电。

③必须在断开工作电源的断路器之后，备自投装置方可动作。避免工作电源在别处被断开，备自投动作后合于故障或备用电源倒送电的情况发生。

④人工切除工作电源时，备自投装置不应动作。

⑤避免备用电源合于永久性故障。在考虑运行方式和保护配置时，应避免备自投装置动作使备用电源合于永久性故障的情况发生。

⑥备自投装置只允许动作一次。

2 试验方案的设计

2.1 试验模型的设计

考虑到变电站现场运行的实际情况，即两条进线、两台主变分列运行或一台运行一台备用，试验采用内桥接线方式，如图 1， $f_1 \sim f_2$ 为试验设置的短路点， S_1 为等效电源， T_1 、 T_2 为变压器， $CT_1 \sim CT_3$ 为电流互感器， PT_1 、 PT_2 为电压互感器，1DL~6DL 为断路器， $Load_1$ 、 $Load_2$ 为系统负荷。

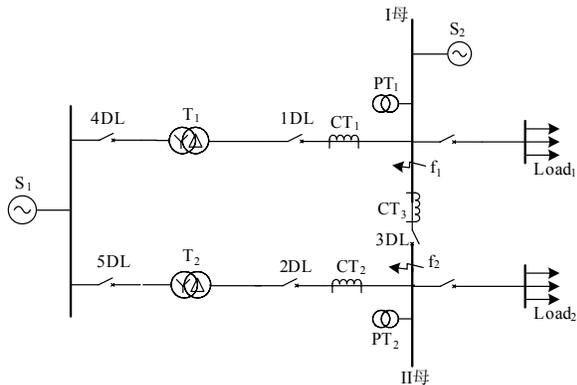


图 1 备自投数模试验典型接线方式
Fig.1 Primary system connection mode of digital dynamic simulation test

按照图 1 所示典型接线方式，在工作站（PC 机）建立了备自投数模试验模型，其中主要设备参数如下：

系统电源。系统容量 $S_1 = 100 \text{ MVA}$ ，系统阻抗 $Z = 0.78 + j7.9 \Omega$ 。小系统 $S_2 = 20 \text{ MVA}$ 。

变压器参数。变比为 110 kV/35 kV，容量为 $S_n = 50 \text{ MVA}$ ，短路阻抗为 $U_k \% = 8\%$ 。

负载容量。 $P = 40 \text{ MW}$ ， $Q = 30 \text{ Mvar}$ 。

电流互感器：变比为 1200/1。

电压互感器：变比为 35/0.1。

根据该典型接线，本文设计了三种运行方式。

方式一：I、II 母线分列运行，即 1DL、2DL、4DL、5DL 在合位，3DL 在分位，此时备自投为分段备自投，即“跳 1 合 3”（或“跳 2 合 3”）；

方式二：I、II 母线并列运行，即 1DL、3DL、4DL、5DL 在合位，2DL 在分位，此时备自投为进线备自投，即“跳 1 合 2”；

方式三：I、II 母线并列运行，即 2DL、3DL、4DL、5DL 在合位，1DL 在分位，此时备自投为进线备自投，即“跳 2 合 1”。

系统模型建成后经过编译，可在 RUNTIME 模块中建立该系统的控制台，如图 2，通过控制台可以实时对动模系统进行控制，调节负荷，开关操作，设置故障，操作方便。

系统建成编译完成后就可按照备自投装置的要求进行短路电流的计算，短路电流的计算可以在该系统中实时进行。根据计算结果，再根据备自投保护配置和整定要求，就可进行备自投定值整定计算。

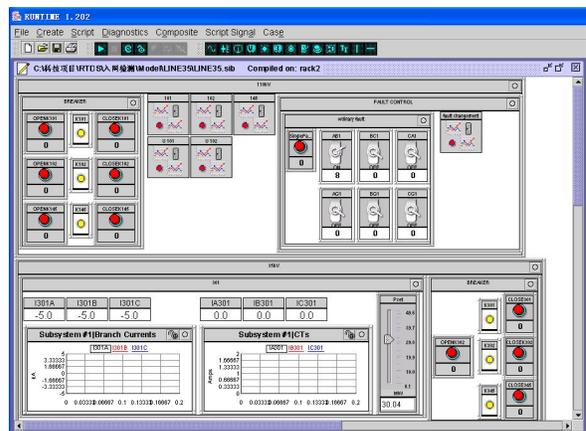


图 2 备自投数模试验控制界面
Fig.2 System control interface design of digital dynamic simulation test

2.2 试验接口的设计

RTDS 实时计算出动模系统经编译后,在工作站可以实时地监测并控制模拟系统的运行,也可以指定备自投装置安装地点上的电流和电压的模拟量输出(交流采样回路)及断路器的操作控制接口(控制、信号回路)。

对于交流采样回路,本次试验选取 CT_1 (进线 I)、 CT_2 (进线 II) 和 CT_3 (分段) 的电流, PT_1 (母线 I) 和 PT_2 (母线 II) 的电压,将这些模拟输出与放大器的输入口相接,就可得到与实际相符的电压和电流信号,再将这些电压电流信号与备自投装置相连接。对于控制信号回路,将备自投装置的跳闸继电器与仿真数模系统的断路器 1DL~3DL 的控制器相接。另外,本文还将交流信号与控制信号都输入到故障录波装置上,以便进行故障分析。这样就构成了一个完整的用来检验备自投装置的仿真数模试验系统,如图 3 所示。

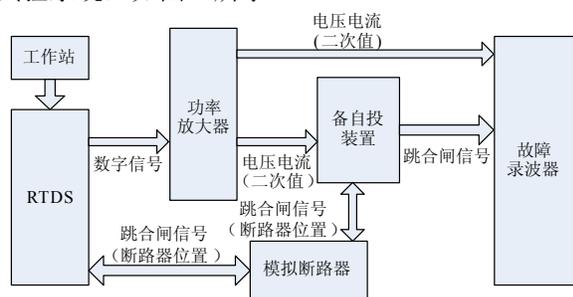


图3 备自投数模试验接口设计

Fig.3 System test interface of digital dynamic simulation test

2.3 试验项目的设计

(1) 断路器偷跳

在方式一下,模拟进线开关 1DL (或 2DL) 偷跳,考查分段开关 3DL 的动作情况。在方式二下,模拟进线开关 1DL 偷跳,考查另一进线开关 2DL 的动作情况。在方式三下,模拟进线开关 2DL 偷跳,考查另一进线开关 1DL 的动作情况。

(2) 断路器拒动

在方式一下,当进线电源失电后,模拟进线开关 1DL (或 2DL) 拒动,考查备自投是否放电及分段开关 3DL 的动作情况。

(3) 进线电源失电

在方式一下,模拟进线电源失电,4DL (或 5DL) 开关跳开,考查分段开关 3DL 的动作情况。在方式二下,模拟 4DL 开关跳开,考查进线开关 1DL 和 2DL 的动作情况。在方式三下,5DL 开关跳开,考查进线开关 1DL 和 2DL 的动作情况。

(4) 双母失压

该项目主要是检查备自投装置的放电逻辑。

在方式一下,模拟进线 I 电源失电 (4DL 开关跳开),在分段开关 3DL 投入前,模拟进线 II 电源失电 (5DL 开关跳开),考查装置动作情况。

(5) 倒闸操作中的永久性故障

在方式一下,模拟进线电源失电,4DL 开关跳开,在备自投装置发出合 3DL 信号之前,在 f_1 处设置各种永久性故障,故障类型包括单相接地、相间短路、两相短路接地、三相短路,考查装置充电保护动作情况。

(6) 正常运行中的故障

在各种运行方式下,分别在 f_1 和 f_2 点设置各种故障,考查装置过流保护动作情况。

(7) 发展性故障

在三种运行方式下,模拟母线同一点 f_1 经不同时间由单相接地故障发展成为两相接地或者三相接地短路故障,发展性故障的两次故障间隔时间为 10~200 ms。

(8) 闭锁备自投

在各种运行方式下,模拟手跳断路器 (人工切除工作电源),考查装置闭锁情况。

在方式一下, f_1 发生各种故障,主变保护的后备动作,此时应闭锁备自投。

(9) 频率偏移

使模拟系统分别运行在 48 Hz 和 52 Hz,考查装置在系统各种运行方式下发生各种故障时的动作情况。

出线带小电源,此时进线电源失电后,如果小电源无功充足,电压不满足无压起动条件,此时备自投应该根据频率下降先解列小电源,然后起动备自投。

(10) PT 断线

分别模拟 I 母侧、II 母侧的 PT 断线。

(11) 间歇性故障

模拟故障满足被试保护动作条件,第一次故障时间小于被试后备保护整定时间,故障中断,中断时间为 20~100 ms,然后出现第二次故障,故障持续时间同第一次。两次故障时间之和应大于被试保护整定时间。

模拟故障满足被试保护动作条件,第一次故障时间小于被试后备保护整定时间,故障中断,中断时间为 20~100 ms,然后出现第二次故障,故障持续时间大于被试保护的整定时间。

3 试验中发现的主要问题

(1) 备自投装置放电逻辑

备自投逻辑虽然简单，但影响备自投逻辑的因素很多。目前，很多厂家仅仅停留在备自投装置本身逻辑的实现，很少从电网的角度考虑，致使备自投正确动作率较低，如文献[7]中事故案例一和天津地区微电子 110 kV 变电站事故，都是由于双母相继失压，备自投装置放电致使分段开关自投失败。针对这一问题，本次试验重点进行了“双母失压”项目。

试验过程如下，在方式一下，跳开 4DL，装置检 I 母线三线电压无压且本段无流，同时检 II 母线任一线电压有压，延时（天津地区延时 5 s）跳 I 母进线开关。确认此开关跳闸后，在分段开关 3DL 自投动作前，跳开 5DL 模拟 II 母线失压且无流。此时装置应闭锁自投而不放电，当 II 母线再次有压，满足自投条件时，延时（天津地区延时 0.1 s）分段开关 3DL 自投动作，如图 4 所示。

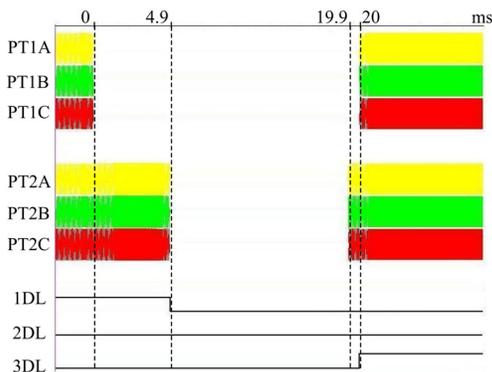


图 4 双母失压项目正确动作情况

Fig.4 Right action in the test item of both buses outage

在试验中发现，当 I 母线失压后，某些厂家的备自投装置不检 II 母线是否有压而立即自投动作，致使自投动作失效，如图 5 所示。

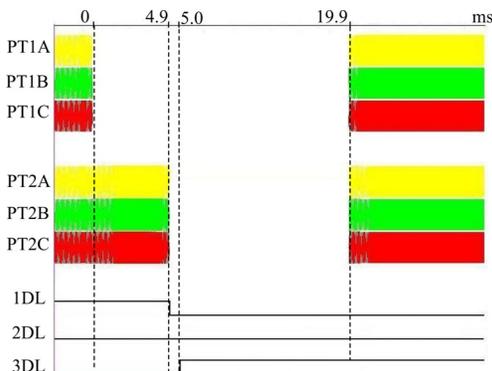


图 5 双母失压项目错误动作情况一

Fig.5 Wrong action I in the test item of both buses outage

而某些厂家检双母失压后不经延时而立即将备自投装置放电致使装置自投失败，如图 6 所示。

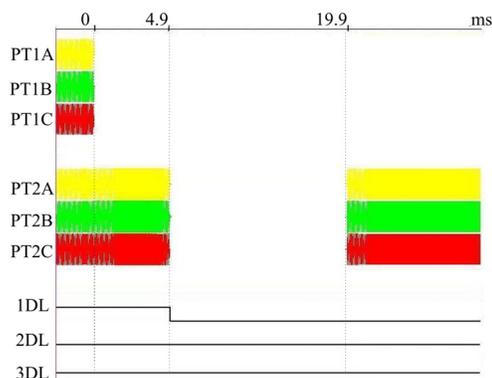


图 6 双母失压项目错误动作情况二

Fig.6 Wrong action II in the test item of both buses outage

(2) 间歇性故障

间歇性故障是电力系统，特别是低压配电系统中频发的故障。本次试验设置间歇性故障的目的是为了详细考查备自投装置的保护（天津地区为充电保护、过流保护）在何故障间歇时间下能够返回，以便在整定定值时，充分考虑备自投装置与上下级保护的级差配合、与重合闸之间的配合，避免保护越级动作。试验中发现，某些厂家在设计时没有考虑到间歇性故障对于装置性能的影响，其装置在故障间歇时间大于 50 ms 时保护才能返回（规程要求 30 ms 以内^[9]），这必然带来了保护越级的隐患。

此外，试验中还发现某些厂家的装置在系统频率偏移下保护拒动，某些厂家的装置对于倒闸操作中的故障和发展性故障保护拒动，某些厂家的装置跳闸脉冲过长影响保护性能等问题。

上述问题在静态试验中难以检测，可见对于备自投装置开展数模试验，模拟实际电力系统的运行情况考查备自投装置的动作性能，对于电力系统的安全可靠运行是十分有意义的。

4 结语

本文设计了基于 RTDS 的备自投装置数模试验方案。设计的试验模型是符合实际的，设计的试验项目较为全面，能够满足备自投装置动模试验的要求。

按照本文提出的方案，开展了基于 RTDS 的备自投装置数模试验，发现了装置存在的不正确动作隐患，避免了备自投装置投入系统后造成的不正确动作，为电网的安全稳定运行及可靠供电提供保证。试验结果表明，本文设计的试验方案实用效果较好，具有广泛的推广价值。

参考文献

[1] 吴涛, 李华伟. 应用RTDS建立安全自动装置模拟试验系统[J]. 华北电力技术, 2002(8): 4-6.

- WU Tao, LI Hua-wei. Making Analog Test System for Automation Safety Device Using RTDS[J]. North China Electric Power, 2002(8): 4-6.
- [2] 李保福, 李莹. RTDS应用于线路保护装置的动模试验[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(7): 69-70.
LI Bao-fu, LI Ying. Comprehensive Test of Protective Relays on Different Ends of Long Transmission Line by RTDS[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(7): 69-70.
- [3] 王学强, 黄立滨, 崔伟. 纵差线路保护装置RTDS实验方案设计[J]. 继电器, 2003, 31(9): 26-30.
WANG Xue-qiang, HUANG Li-bin, CUI Wei. Test Scheme of Line Differential Relay by RTDS[J]. Relay, 2003, 31(9): 26-30.
- [4] 毛鹏, 杨立璠, 杜肖功. 基于RTDS的超高压线路保护装置的试验研究[J]. 继电器, 2004, 32(3): 55-59.
MAO Peng, YANG Li-fan, DU Xiao-gong. Research on Extra-high-voltage Line Protection Based on RTDS[J]. Relay, 2004, 32(3): 55-59.
- [5] 张延鹏, 阎振宏, 宋卓然. 基于RTDS母差保护装置的数字动模试验研究[J]. 东北电力技术, 2007, 28(10): 1-3.
ZHANG Yan-peng, YAN Zhen-hong, SONG Zhuo-ran. Digital Dynamic Simulation Test Research on Based on RTDS Differential Bus Protection Device[J]. Northeast Electric Power Technology, 2007, 28(10): 1-3.
- [6] 古斌, 谭建成. 电力变压器励磁涌流和内部故障识别新方法[J]. 继电器, 2007, 35(2): 6-10.
GU Bin, TAN Jian-cheng. A New Approach to the Discrimination between Inrush-current and Internal Fault Current of Transformers[J]. Relay, 2007, 35(2): 6-10.
- [7] 崔艳, 杜景远. 备自投装置在电网中的应用分析[J]. 继电器, 2005, 33(22): 76-78.
CUI Yan, DU Jing-yuan. Application and Analysis of Reserved Auto-switch-on Device based on Power Network[J]. Relay, 2005, 33(22): 76-78.
- [8] 余国雄, 尹星光. 一起10 kV分段备自投拒动事故的分析[J]. 继电器, 2007, 35(5): 75-77.
YU Guo-xiong, YIN Xing-guang. Analysis of a 10 kV Step-feed Automatic Back-up Power Supply Device Failure to Operate[J]. Relay, 2007, 35(5): 75-77.
- [9] DL/T871-2004, 电力系统继电保护产品动模试验[S].
- [10] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护规定汇编[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000.
State Electric Power Dispatching Center of China. Compilation of Power System Relay Protection Regulation[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2000.

收稿日期: 2009-04-22; 修回日期: 2009-08-25

作者简介:

刘涛(1980-), 男, 工程师, 硕士研究生, 主要从事电力系统仿真及继电保护试验工作; E-mail: net_liutao@126.com

杜明(1984-), 男, 助理工程师, 主要从事继电保护试验工作;

时燕新(1972-), 男, 高级工程师, 主要从事继电保护及高压试验工作。

(上接第 122 页 continued from page 122)

- LU Ying-xian, XIAO Yong-hui. Solutions to Loss of Voltage in Entire Substation with Small Power Source[J]. Guangdong Electric Power, 2007, 20(9): 20-22.
- [2] 陈德树. 计算机继电保护原理与技术[M]. 北京: 水利电力出版社, 1992.
CHEN De-shu. Principle and Technology of Protection Based on Computer [M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1992.
- [3] 李继晟, 郑蔚, 叶艳军. 一种新型的综合测控装置中同期功能的设计实现[J]. 继电器, 2005, 33(5): 56-61.
LI Ji-sheng, ZHENG Wei, YE Yan-jun. Design and Realization of Synchronization Function of Integrated Measuring and Control Device [J]. Relay, 2005, 33(5): 56-61.
- [4] 戴列峰, 俞波, 姚吉文. 基于合闸角选择的智能重合闸在保护装置中的应用[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(4): 15-18.
DAI Lie-feng, YU Bo, YAO Ji-wen. Application of an Intelligent Recloser Based on the Choice of Initial Fault Current Angle in Protection Devices[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(4): 15-18.
- [5] 刘继安, 王书杰, 江舰. 电网备自投稳控装置在电网中的研发应用[J]. 继电器, 2007, 35(19): 21-24.
LIU Ji-an, WANG Shu-jie, JIANG Jian. Research and Application of Stand-by Power Auto-switch-on Control Device[J]. Relay, 2007, 35(19): 21-24.
- [6] 崔艳, 杜景远. 备自投装置在电网中的应用分析[J]. 继电器, 2005, 33(22): 12-16.
CUI Yan, DU Jing-yuan. Application and Analysis of Reserved Auto-switch-on Device Based on Power Network[J]. Relay, 2005, 33(22): 12-16.
- [7] 潘书燕, 吕良君, 周洪涛. 一种适用于安全稳定控制系统的备用电源自投装置[J]. 电力自动化设备, 2007, 27(2): 25-27.
PAN Shu-yan, Lü Liang-jun, ZHOU Hong-tao. Automatic Bus Transfer Equipment under Safety and Stability Control System[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27(2): 25-27.
- [8] 贾向恩. 微机备自投装置应用中相关问题的分析与探讨[J]. 继电器, 2004, 32(14): 22-24.
JIA Xiang-en. Analysis of the Related Problems in the Application of a Microprocessor Based Reserved Auto-switch-on Device[J]. Relay, 2004, 32(14): 22-24.

收稿日期: 2009-05-27; 修回日期: 2009-07-12

作者简介:

陈志峰(1976-), 男, 工程师, 硕士研究生, 从事继电保护运行与整定研究; E-mail: dekywoo@yahoo.com.cn

吴勇(1978-), 男, 工程师, 硕士研究生, 从事继电保护研究;

金滇黔(1974-), 男, 工程师, 硕士研究生, 从事继电保护研究。