

安全稳定控制装置测试技术的研究

吴勇, 周良松, 张力晨, 代仕勇

(华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 如何有效地测试安全稳定控制装置, 对确保安全稳定控制装置在电力系统中的可靠性、有效性、选择性、适应性等有着重要的意义。该文对其测试技术进行了深入的研究与探讨, 并且提出了一个通用化、实用化的测试仪实现方案。根据该方案设计的测试仪已投入使用, 并取得了良好的测试效果。

关键词: 安全稳定控制装置; 电力系统; 测试技术

中图分类号: TM712 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)10-0049-04

0 引言

随着跨大区联网和电力市场的逐步实现, 电网结构越来越复杂, 系统运行方式灵活多变, 大电网的稳定问题 (尤其是暂态稳定问题) 变得更加复杂。这些变化使得在电力系统中应用安全稳定控制装置 (系统) 逐渐成为一种共识, 因此安全稳定控制装置 (系统) 的研究与开发得到了长足的发展。然而, 目前相应的测试技术及装置研究还处于起步阶段。由于稳定控制装置接入的线路、主变、机组等元件多, 每个元件一般都有三相电压、三相电流及多个开入量, 普通的继保测试仪只能输出有限的一组或几组电压与电流, 而且仿真波形也满足不了测试需要; 如果采用由旋转设备构成的动态模拟实验系统, 它虽然能较好地提供测试所需要的故障波形, 但是能输出的模拟量很有限, 不能真实地反映现实的电力系统, 而且动模实验的接线和操作十分复杂, 实验过程既费时又费力。文献 [1] 提出了一种就地判别式切机装置测试仪的方案, 部分地解决了切机装置的故障波形仿真问题, 但是由于没有考虑现场的跳闸信号、跨区域联网控制装置的特点等因素, 满足不了区域安全稳定控制装置测试的需要。

为了在一般实验室或现场调试中能更加方便、有效地测试安全稳定控制装置, 以确保安全稳定控制装置 (系统) 能够满足可靠性、有效性、选择性和适应性等 [2] 基本要求, 本文重点对测试技术进行了深入的研究与探讨, 并在此基础上提出了通用化、实用化的测试仪实现方案。

1 安全稳定控制装置测试技术的特点及研究

一般的稳定控制装置测试流程为: 研发阶段实验室环境下的初期测试 (以模块为单位) → 中期或

成型综合测试 (包括静态模拟、动态模拟等) → 运行前的外界环境测试 (包括电磁干扰、温度、湿度、机械振动等) → 挂网试运行 → 投运后异常测试 (自诊断、测试装置等) [3]。本文关心的是研发阶段实验室环境下的初期测试、中期或成型综合测试以及投运后现场的检修测试, 其中重点研究了波形仿真的问题、电力系统仿真的问题以及测试方案的设计要求。

1.1 波形仿真的问题

1.1.1 波形仿真的特点

在测试过程中, 需要向安全稳定控制装置提供电力系统各状况下的仿真波形, 因此很有必要研究波形仿真的特点。安全稳定控制装置测试所需的仿真波形跟继电保护装置测试所需的并不完全相同: 前者不仅要考虑到故障前以及故障期间的波形, 而且还要考虑到故障切除后的波形 (即不仅要考虑到电磁暂态过程, 而且还要考虑到中长期的机电暂态过程); 而后者只需要考虑到故障前以及故障期间的波形 (即只考虑电磁暂态过程)。以某线路 A 相金属性短路故障为例, 图 1、2 分别是 A 相的电压和电流波形。从图中可以看出, -20 ms 时刻线路发生故障, 75 ms 时刻故障被切除, 其波形包括了 3 个时间段: 故障发生之前、故障发生中、故障切除后。由于故障切除后, 安全稳定控制装置对该故障的处理还包括继续跟踪电力系统运行状态一段时间, 所以安全稳定控制装置测试需要仿真的波形是故障发生之前、故障发生时刻以至切除后数个振荡周期内 (约 2~4 s) 的波形; 而继保测试需要仿真的波形只是故障发生之前和故障发生时 20 ms 内的波形 (即故障发生时的一个振荡周期内)。

1.1.2 仿真波形的建立

目前, 用于安全稳定控制装置测试的仿真波形

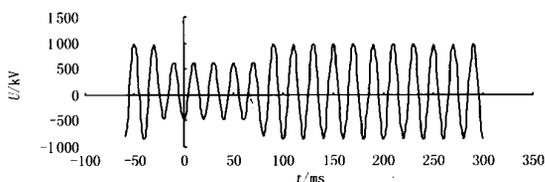


图 1 A相电压波形

Fig 1 Voltage curve of phase A

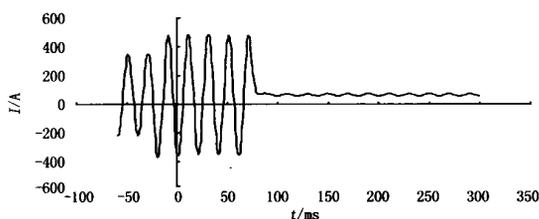


图 2 A相电流波形

Fig 2 Current curve of phase A

可有 3 个来源 (方法):

1) 故障录波回放。安全稳定控制装置一般都具有故障录波的功能,能够把故障波形及其他信息以数字量形式存放起来。因此,我们可以利用这一点来实现故障回放的功能。其优点是:如果是现场的录波,则故障回放可以真实地还原实际系统的故障;不足之处是实际的电力系统不可能频繁发生故障,因此不可能提供各种故障下的录波数据给稳控装置测试。

2) 自定义仿真波形。根据分析计算或现场经验,直接设定考核稳控装置控制逻辑的波形数据,并建立相应的仿真波形。其优点是简单、快捷而且能模拟多种运行状况;不足之处是设定者须具有扎实的专业理论和丰富的系统运行经验,否则得到的仿真波形有可能误导稳控判据,使测试适得其反。因此,自定义仿真波形适合作为辅助的测试手段。

3) 借助仿真软件进行仿真,如:EMTP、PSASP、BPA等。对于复杂的电力系统,我们可以输入仿真软件所需的电力系统参数及相关设定值,运行仿真软件后可得到测试稳控装置控制逻辑所需的仿真波形数据,然后建立相应的仿真波形。

在测试过程中,可以根据实际情况采用以上某种方法或几种方法相结合。

在使用以上 3 种方法时,为了使测试程序模块化、通用化,方法中的仿真波形数据应该都转化成相同的固定格式存放起来。

此外,仿真波形数据还原成波形(D/A转换)之前,还应该根据需要对仿真波形数据进行合理的线性插值处理,以保证波形的平滑与连续性。例如:某

组仿真波形数据,如果相邻两个仿真数据的时间间隔大于 D/A 转换的“采样”周期,则该组波形数据要还原成正弦波(原型为 $A \sin(2\pi ft + Q)$)需采用线性插值,其表达式为:

$$\left(A_1 + \frac{A_2 - A_1}{t_2 - t_1} t\right) \sin\left(2\pi \left(f_1 + \frac{f_2 - f_1}{t_2 - t_1} t\right) + Q_1 + \frac{Q_2 - Q_1}{t_2 - t_1} t\right)$$

其中: A 表示电压(电流)幅值; f 表示频率; Q 表示初始相角; 下标 1、2 表示某相邻的两个数据点; t 是步长为“采样”周期的时间计数值。

1.2 电力系统仿真的问题

安全稳定控制装置的工作是基于某个电力系统运行状态的,因此,测试要求把相应的电力系统运行状态仿真出来。

首先,传统意义的继电保护测试,为了快速往往将系统模型大大简化,甚至简化成单机对无穷大系统;而安全稳定控制装置(系统)涉及到大电网、全局性的问题,所以其测试通常采用实际的系统模型或经过适当简化的系统模型。

其次,为了满足安全稳定控制装置的测试要求,系统仿真还要考虑到电力系统各种状态的模拟,如:

- 1) 电力系统不同类型的稳定状态,如,静态稳定、暂态稳定、动态稳定等。
- 2) 不同类型的故障,如,单相永久性故障、相间故障、过负荷、单相瞬时接地故障等。
- 3) 不同元件的故障,如,线路、母线、变压器、发电机等发生的故障。
- 4) 发生故障的重数,有单重故障、多重故障。
- 5) 电力保护设备在故障时的动作情况,如,某线路发生短路时,断路器和自动重合闸装置是怎么动作的,动作成功与否等。
- 6) 电力系统接线方式,如,正常接线方式、检修方式。
- 7) 电力系统潮流的大小及方向。

1.3 测试方案的设计要求

稳控装置测试方案的设计不仅要提供波形仿真和系统仿真,而且还要考虑到两个关键性问题:

1) 为了保证安全稳定控制装置在复杂的电力系统状况下能准确、可靠地工作,设计要求尽可能多地测试出安全稳定控制装置(系统)存在的缺陷。

为此,需要制定一个尽可能全面的测试大纲,测试的内容包括:故障动作测试、故障报告考核、故障动作时间测试、数据采集精度测试、通信测试等等。

其中,故障动作测试作为最重要的测试项目,主要是考核软件控制逻辑的正确性、严密性以及硬件

动作的正确性。然而要在故障动作测试中做到对所有元件的所有状况都测试一遍是不现实的。因此,为了达到良好的测试效果,本文提出了一些建议:

a 要有尽可能详尽的预想故障类型以供选择。

b 同一个元件连续发生故障的时间间隔是可以随机选择的。这样可以测试出当电力系统在短时间内连续发生故障或者在长时间内偶尔发生故障时,稳定控制装置的动作性能。

c 某个元件可以随机产生不同的故障,而且还可以跟其它元件的故障随机组合。

d 能模拟最恶劣的故障情况,如最多的故障重数,以测试稳定控制装置在这种情况下的工作性能。

2) 测试过程要考虑到电力系统各种各样的情况,测试人员的工作量很大,而且容易出错。因此,为了提高测试的效率与准确度,测试方案应尽可能实现自动化、智能化。

例如,设计的测试仪应该具有以下功能:

a 自动测试的功能。测试仪能支持手动测试、批处理式的整组测试以及触发测试,并且能自动地对测试结果进行管理,生成测试报表。

b 自动分析功能。在安全稳定控制装置的软件调试过程中,往往要进行重复而又大量的测试,因此测试仪应当可以跟稳控装置进行通信,接收稳控装置发来的动作信息(例如:故障回路号、执行决策号、故障类型及元件号、策略表的定值地址号等),然后跟事先存放在测试仪的正确动作信息进行校对、分析,生成校验报告文本,并且在显示屏上显示校验的结果。

c 自动监视功能。测试仪应能自动监视稳定控制装置的误动、拒动以及重启动,并能把这些事件记录下来。

2 测试仪的原理及实现方案

2.1 安全稳定控制装置的基本工作原理

在设计测试仪的实现方案之前,首先了解一下安全稳定控制装置的基本工作原理:当电力系统正常时,稳控装置自动检测就地量和接收远方传来的电网信息,自动识别电网当前的运行方式,自动接收上层自动决策系统传来的控制策略和准实时决策方案;当电力系统发生故障时,根据检测到的系统状态量的变化、继电保护跳闸信号、断路器位置的变化信号以及少量的远方信号,自动判别电网发生的故障类型、故障范围、故障方向以及故障的严重程度;在稳定判别时,参照上层决策系统传来的或人工预设

的控制策略表,按事故前电网运行方式、系统的故障方式、系统的故障状态,就地进行第2次决策,得出相应的控制措施,发出切机、切负荷、直流制动、电阻制动等控制命令,其中一部分命令发往执行机执行;跟踪检测事故发生过程,在发现控制措施没有执行或虽执行但没有达到预期效果时,及时采取后备的补救措施,以确保电网的安全稳定运行;在故障处理过程中,进行故障录波,事件自动记录,对装置动作行为进行解释^[4]。安全稳定控制装置的基本原理如图3所示。

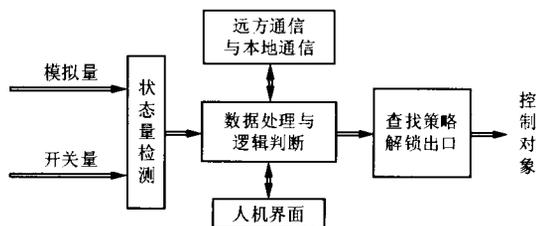


图3 安全稳定控制装置的基本构成原理图

Fig 3 Block diagram of security and stability control equipment

2.2 测试仪的硬件原理设计

根据稳定控制装置的基本原理,稳定控制装置的输入模拟量为线路的电压、电流,发电机的电流,母线的电压量等;输入的开关量为继电保护动作信号、断路器位置的变化信号以及少量的远方信号等。因此,测试仪提供给安全稳定控制装置的基本接口包括:交流量(即模拟量)接口、开关量接口,另外加上串口通信接口。其中,输出给测试仪的开关量是稳定控制装置的出口控制信号,它与串口通信都用于辅助实现测试过程的自动分析和自动监视。如图4所示,测试仪和安全稳定控制装置构成了一个完整的测试系统。

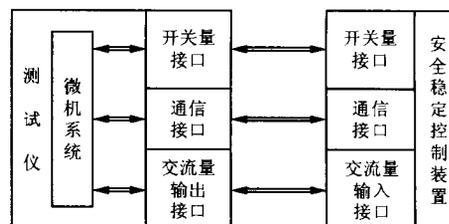


图4 测试系统构成图

Fig 4 Block diagram of test system

测试仪基于一台小型的工业微机,通信端口采用主板上的COM1串口,数据转换卡包括32个通道的D/A电路和32路数字I/O电路,人机接口采用小型液晶显示屏和小型键盘。

2.3 测试仪的软件原理设计

由于篇幅所限,本文只介绍故障动作测试模块的软件原理设计。故障动作测试软件由主程序和一个中断服务程序组成。

由主程序完成以下功能:选择测试方式(手动测试、整组测试、触发测试或者随机故障测试)、准备仿真数据(根据仿真波形的来源,转换成通用数据格式)、显示测试信息、自动分析(分析测试结果并生成测试报表)以及自动监视(判断有无误动、拒动以及重启动的情况)。主程序流程图如图5所示。

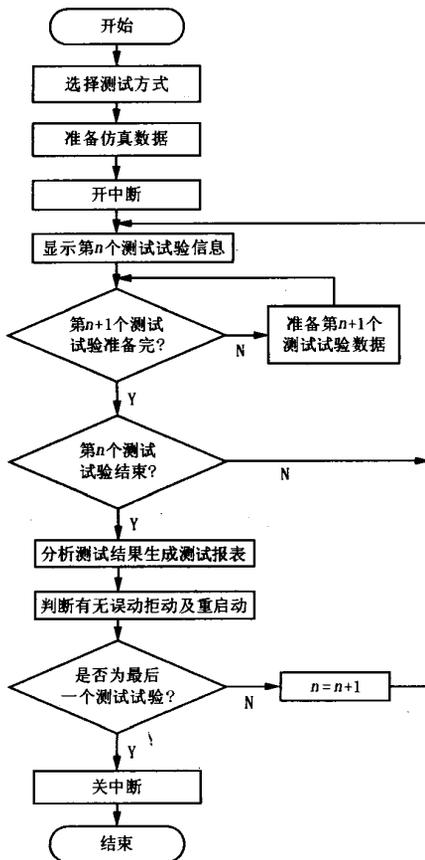


图5 故障动作测试程序

Fig 5 Program of fault operation test

通过中断服务程序设计,实现了跟系统时间密切相关的操作功能,如:D/A转换输出、开关量的接收与输出以及通过串口通信接收安全稳定控制装置的动作信息及重启动信息。中断服务程序流程图如图6所示。

3 结束语

本文对安全稳定控制装置的测试技术及特点进行了深入的研究与探讨,并且提出了安全稳定控制装置测试仪的实现方案。根据该方案设计的测试仪



图6 中断服务程序

Fig 6 Interrupting service program

在实际应用中已经取得了很好的效果,不但具有节约时间、耗资少、可以随时随地进行测试等动态模拟实验不可比拟的优点,而且还可以根据具体的需要不断扩展新的功能,为安全稳定控制装置的研发和测试提供了便利的测试手段,同时对类似测试装置的研制有很好的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 张建成,陈志业.就地判别式切机装置测试仪的研究[J].华北电力学院学报,1996,23(2):14-18
ZHANG Jian-cheng, CHEN Zhi-ye. Research on Testing Instruments for Tripping Devices Using Local Information [J]. Journal of North China Institute of Electric Power, 1996, 23(2): 14-18
- [2] 张保会,康小宁,等.关于电力系统安全稳定控制装置(系统)基本要求的再探讨[J].电力系统自动化,1995,19(9):60-64
ZHANG Bao-hui, KANG Xiao-ning, et al A Proposal Concerning the Fundamental Criteria of Control Equipment for Power System Stability [J]. Automation of Electric Power Systems, 1995, 19(9): 60-64
- [3] 姚光华,赵武智,等.暂态稳定控制装置的测试与仿真浅析[J].继电器,2002,30(12):38-44
YAO Guang-hua, ZHAO Wu-zhi, et al Initial Analysis about Measure and Simulation for Transient Stability Control Equipment [J]. Relay, 2002, 30(12): 38-44
- [4] 周良松,夏成军,等.葛洲坝电厂综合稳定控制装置的功能与实施[J].继电器,2000,28(2):41-43
ZHOU Liang-song, XIA Cheng-jun, et al The Function and Implementation of the Compound Stability Control Equipment for Gezhouba Hydro Plant [J]. Relay, 2000, 28(2): 41-43

(下转第56页 continued on page56)

- 统故障诊断专家系统 [J]. 电力系统自动化, 2001, 25 (24): 33-36
 ZHOU Ming, REN Jian-wen, LI Geng-yin Distributed Power System Fault Diagnosis Expert System Based on Fuzzy Inference [J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25 (24): 33-36
- [3] 张沛超, 胡炎, 郁惟镛. 继电保护专家系统中知识的面向对象表示法 [J]. 继电器, 2001, 29 (2): 16-19.
 ZHANG Pei-chao, HU Yan, YU Wei-yong The Object-oriented Knowledge Representation Paradigm in Protection Expert System [J]. Relay, 2001, 29 (2): 16-19.
- [4] 廖志伟, 孙雅明, 叶青华. 人工智能技术在电力系统故障诊断中应用 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2003, 15 (6): 71-79.
 LIAO Zhi-wei, SUN Ya-ming, YE Qing-hua Artificial Intelligent Technologies for Fault Diagnosis in Power System [J]. Proceedings of the EPSA, 2003, 15 (6): 71-79.
- [5] 赵东梅, 张东英, 徐开理. 分层分布式电网故障诊断专家系统设计 [J]. 现代电力, 2001, 18 (3): 41-46.
 ZHAO Dong-mei, ZHANG Dong-ying, XU Kai-li Design of Delaminated and Distributed Fault Diagnosis Expert System for Power System [J]. Modern Electric Power, 2001, 18 (3): 41-46.
- [6] 刘铭, 时昕, 姚燕南. 基于数据库的电力设备故障诊断模糊专家系统的设计与实现 [J]. 计算机工程, 2001, 27 (3): 75-77.
 LIU Ming, SHI Xin, YAO Yan-nan Design & Implement of the Fault Diagnosis Fuzzy Expert System for the Electric Power Equipment Based on the Database [J]. Computer Engineering, 2001, 27 (3): 75-77.
- [7] 赵东梅, 郭锐, 徐开理. 电网故障诊断专家系统的一种实现 [J]. 电力自动化设备, 2000, 20 (4): 33-36.
 ZHAO Dong-mei, GUO Rui, XU Kai-li An Implementation Method for Power System Fault Diagnosis Expert System [J]. Electric Power Automation Equipment, 2000, 20 (4): 33-36.
- [8] 梅慧兰, 徐玮, 陈允平. 专家系统在继电保护整定计算中的应用研究 [J]. 继电器, 2004, 32 (8): 15-18.
 MEI Hui-lan, XU Wei, CHEN Yun-ping Application Research on Expert System in Protective Relay Setting Calculation [J]. Relay, 2004, 32 (8): 15-18.

收稿日期: 2004-09-07; 修回日期: 2004-10-13

作者简介:

李 炜 (1975 -), 女, 硕士, 工程师, 从事继电保护方面的技术工作。E-mail: lyweyl@163.com

Design method of fault analysis expert system in relay protection and fault information system

LI Wei

(Hunan Electric Power Dispatch & Communication Center, Changsha 410007, China)

Abstract: A design method of fault analysis expert system in relay protection and fault information system is put forward, and its functional structure is analyzed. Several ways of knowledge representation, which are the nucleus of the fault analysis expert system, are compared. And several application approaches are also introduced.

Key words: fault information system; fault analysis; expert system; knowledge representation

(上接第 52 页 continued from page 52)

收稿日期: 2004-09-08; 修回日期: 2004-11-01

作者简介:

吴 勇 (1978 -), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统分析与稳定控制; E-mail: 13349954740@hb165.com

周良松 (1967 -), 男, 副教授, 主要研究方向为电力系统稳定与控制、电力系统安全稳定控制装置;

张力晨 (1979 -), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统稳定控制与实时通信。

Research on test technology of security and stability control equipment

WU Yong, ZHOU Liang-song, ZHANG Li-chen, DAI Shi-yong

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: How to test security and stability control equipment (SSCE) is important to ensure high reliability, sufficient effectivity, suitable selectivity and good adaptability of SSCE in power system. The test technology of SSCE is studied and discussed in detail, and a universal scheme of test equipment is put forward. The test equipment designed according to this scheme has been put into use and got a good result.

Key words: security and stability control equipment; power system; test technology