

暂态稳定控制装置的测试与仿真浅析

姚光华, 赵武智, 刘启胜, 陈允平

(武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072)

摘要: 针对稳定控制与继电保护装置在测试与仿真方面的较大差距, 从国内暂态稳定控制测试装置的现状入手, 分析了开发较为通用的稳定控制测试装置的意义与可能性, 讨论了测试与仿真、诊断的关系, 指出一般的稳定控制装置测试流程; 而后分别具体介绍了稳定装置的模块测试、综合测试、数字仿真的方法以及用于稳定性判别的常见仿真软件, 这些测试与仿真技术不仅在稳定控制领域, 而且在继电保护与其它自动装置领域也有着同样重要的用途; 最后作者指出了稳定控制测试与仿真技术在网络化、智能化、实时性、模块化等方面的发展趋势。

关键词: 暂态稳定控制; 测试装置; 仿真

中图分类号: TM743

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2002)12-0038-04

1 前言

国内微机保护装置经历了几代的发展目前已颇具规模, 各项性能逐渐接近国外先进水平, 其测试装置的开发也已日渐成熟; 而另一种重要的自动装置——暂态稳定控制装置的开发却仍处于实验室研发阶段, 其测试装置更是处于“襁褓”时期。这一方面是由于装置本身采用的器件千差万别; 另一方面是由于实际的稳定控制与具体的电网结构、潮流水平等具体因素有关, 且电网的地域分散性使得稳定控制的实现并非易事, 稳定性的理论问题也尚未圆满地解决。因此目前国内这一领域的现状是: 针对具体的(一般为区域性)电网开发专用的稳定控制装置, 而相应的测试装置也只是附带产品而已, 更无通用性可言。实际上, 早在多年前, 南自院的孙光辉等人就提出了稳定控制装置的模块化设计^[1], 也就是说稳定控制装置也象保护装置一样有“四统一”问题; 而文献[2]中对安全稳定控制装置基本要求的讨论也为开发较为通用的稳定控制装置及其测试装置起到了促进作用。本文就暂态稳定控制装置的测试与仿真中的一些共性问题作了初步的研究与探讨。

2 开发暂态稳定控制测试装置的意义

广义地讲, 暂态稳定控制装置所实现的功能应该包括预防控制、紧急控制与恢复控制三部分, 即当电网处于正常运行时, 通过对电网的观测计算得到电网的稳定域度, 使调度运行人员能及时采取措施使电网从警戒状态恢复到安全状态, 防止失稳情况的发生。当电网发生失稳后, 迅速判断并发出保证

稳定的执行命令, 如切机、切负荷、投制动电阻等。如果失稳严重时, 应当及时解裂; 采取了稳定措施以后的电网在一定时间内还要进行恢复, 以尽量减少用户的停电时间。目前实际的稳控装置中大多以紧急控制为主, 大体上分为离线预决策实时匹配、在线预决策实时匹配、在线决策等三大类。尽管具体的稳定控制装置采取的原理不同, 但随着模块化程度的提高, 装置中一些共性问题如硬件上基于 GPS 的前置数据采集装置与执行机构、软件上统一的人机接口、稳定策略表数据的储存与管理等为开发通用的稳定控制测试装置提供了可能性。

传统的暂态稳定控制装置多为一些简单的线路跳闸连锁切机、切负荷装置, 开发相应的测试装置显得意义不大。但随着电力系统自动化程度的提高以及大电网的形成, 人们对暂稳控制装置的各项性能提出了新的更高的要求, 并且希望在采取稳控措施的同时保证较好的经济性, 因此逐渐开发一些新型的区域稳定控制装置。特别是对于一些大电网的稳定控制系统, 常常由多个功能相似的子站构成^[3], 这时开发针对稳定控制装置的测试设备则可以明显提高开发的速度。另外, 随着近年来对装置开放性、可靠性、可维护性等要求的提高, 模块化的开发已是势在必行。以市场上的 OEM 数据采集卡、通信卡、工业 PC 机、图形一体化工作站、PCI04 等成型器件作为基本模块, 然后自行进行软件开发, 不仅可以大大缩短研发时间, 而且可以利用这些模块自带的诊断工具, 即便是将这些针对性较强的诊断程序集成起来, 形成一个综合诊断软件, 也可大大提高装置的可维护性, 方便用户与研发人员。

3 测试装置与仿真、诊断软件的联系

测试装置的目的是通过仪器产生与现场实际信号相仿的模拟/数字信号以测试原装置的响应是否正确及时以及其它各项性能的好坏,因此从本质上说测试装置就是一种仿真或者说模拟(simulation)。特别地,数字仿真得到的信号经过变换(D/A、电平变换)、放大(称为回放技术)后也可作为测试装置的输出。对于暂态稳定测试装置而言,仿真的特殊性在于研究对象的“暂态”性与“稳定”性的判别。暂态稳定考虑的是发电机的转子运动方程,即机电暂态过程(故障后一、二百毫秒之内),因此完全可以象保护测试装置中(考虑的是时间上更加严格的电磁暂态过程)那样用EMTP、MATLAB等仿真软件事先/实时产生所需模拟信号;而在稳定性的判别上,可以采用PSASP、BPA等专用软件进行仿真检验。

目前大多数正规工业级产品投入实用时,都附带开发有自诊断软件,即当装置的硬件/软件出现问题时,可以在没有维修人员在场的情况下帮助运行人员迅速地判断问题出在哪儿。从稳定控制装置的构成来看,诊断软件多用于以工业PC/工作站/LAN方式构成的稳定控制装置中,并偏重于硬件;测试装置则多用于以嵌入式方式构成的稳定控制装置,既可以测试硬件也可测试软件。而从使用场合来看,诊断软件多用于装置投运后发生异常时使用,测试装置则多用于开发调试阶段。

由上述讨论,可形成一个一般的稳定控制装置测试流程: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、数字仿真、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)。

4 暂态稳控装置的测试

测试可以大致分为硬件测试与软件测试,也可分为模块测试与综合测试。不同的测试有其不同的技术与误差要求。

4.1 模块测试

模块测试多用于开发研制阶段。从硬件上看,一个相对完整的暂态稳定控制单元可以分为数据采集模块、稳定判断模块、执行模块等几部分,每个模块又可分为一些小模块,如图1所示。例如对于前置机数据采集模块,需要对变送调理子模块、A/D转换子模块、RAM子模块、串口通信子模块、GPS接收

子模块等分别进行测试,这一部分的测试大都侧重于硬件,因此多采用汇编语言ASM/C语言等实现。对于图形一体化工作站稳定判断模块,由于采用的是工业级工控机,硬件上的性能由厂家保证,因此侧重点在于软件的测试上,根据具体的需求可分别选取DOS文本/图形方式、MS Windows/X - Windows图形方式等。对于执行模块,由于稳定控制多是一些离散的开关量的控制,即通过切机、切负荷、制动电阻压板的投退,因此在测试上与数据采集模块相似。文献[7]中提出了变电站自动化监控主站研制中的软件静/动态测试,对稳定控制装置工作站部分的软件测试具有借鉴意义。

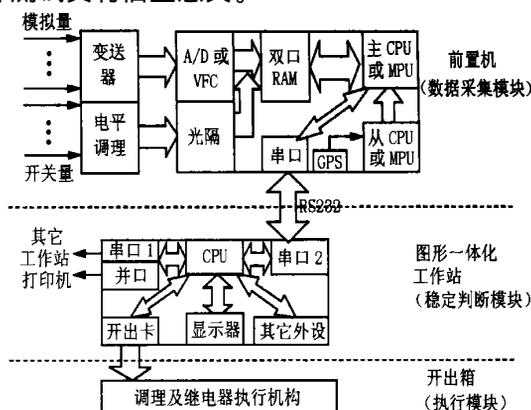


图1 一个相对完整的稳定控制单元组成

Fig.1 Configuration of a relative complete stability control unit

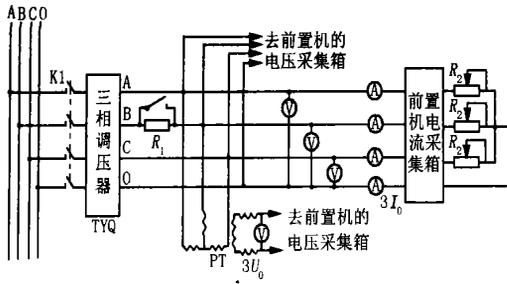
4.2 综合测试

综合测试多用于试运行前的调试阶段,以检验装置的整体性能。这里所指的综合测试主要侧重于实验室条件下的静模试验与数字仿真。图2(a)、(b)分别给出了一种模拟量和开关量输入接线图,图2(c)给出了利用图2(b)中开关板产生的模拟单相永久性短路的仿真时序。这种综合测试方案实现简单,但缺点是所产生的模拟量与开关量信号存在着时延(时间上的不一致)。若将(a)回路中引入继电器,由(b)的时间序列控制其开断,则可以解决时延问题,但对继电器的反应速度要求较高。

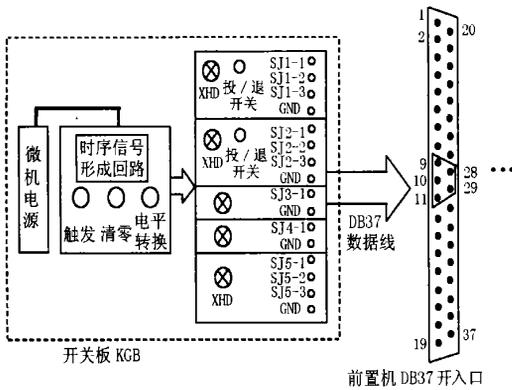
5 暂稳控制装置的仿真

5.1 常规的数字仿真

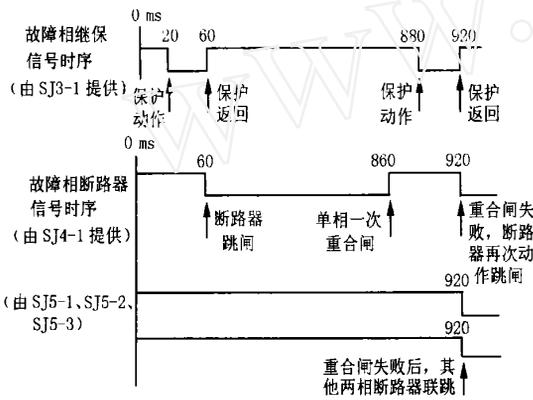
随着计算机技术的飞速发展,数字仿真已日益广泛地应用到电力系统之中,以计算机软件实现的数学模型来代替物理模型产生所需数字信号的方式不仅灵活精确,而且在处理电力系统这种高维、非线性



(a) 稳定控制装置综合测试模拟量输入接线图



(b) 稳定控制装置综合测试开关量输入接线图



(c) 图(b)中由KGB产生的开关量时序信号 (单相永久性短路带一次重合闸)

图2 稳定控制装置综合测试中的一种接线图方案

Fig.2 A wiring scheme in comprehensive test of the stability control equipment

性大系统稳定性问题时功能更加强大。常用的产生开关量仿真信号的方法是通过硬件定时电路实现或软件设定后经D/A输出;产生原始(回放前)模拟量仿真信号的方法则有:

a) 最简单的数字仿真:由电力系统分析中所描述的短路电流/电压计算公式以及暂态过程直接由高级语言产生仿真信息。

b) 最接近生产实际的数字仿真:根据电网故障

时的现场录波产生仿真信息。

c) 借助仿真软件:通过EMTP、MATLAB等常用的仿真软件产生仿真信息。

但这些数字仿真只能针对某些稳定控制装置(如采取离线预决策实时匹配的控制方案),或者说不能涉及稳定性分析与判别方面的内容。当需要对稳定性判别正确性与准确度进行仿真考验时就需要使用专门的仿真工具。

5.2 对稳定性分析判别的检验

文献[8]对电磁/机电暂态领域常用的PSASP、EMTP、动模、暂态分析仪(TNA)、HVDC模拟、数/模混合式仿真器、RTDS等研究工具进行了比较,而表1则着重给出了一些常用的仿真软件的简介。

实际上,目前一些稳定控制装置中,特别是采用快速SBS法实现在线预决策实时匹配或在线实时决策控制的稳定控制装置,已经将上述仿真软件中的一部分功能集成到装置内。

6 稳控测试装置与仿真的发展趋势

随着网络技术、分布式技术、并行处理技术、智能与Agent技术、辨识技术等稳定控制装置中的应用,装置的网络化、智能化、实时性、模块化程度会越来越高,因此对测试装置与仿真相应的要求也会增加。利用虚拟仪器技术进一步改进和完善测试软件的功能;利用人工智能与诊断技术对稳定控制装置进行智能化的“精确故障定位”,在很短时间内找出问题所在;利用分布式并行处理技术提高仿真软件的实时性;利用COM/DCOM、Agent技术实现网络分布式计算等这些都是未来稳控测试装置与仿真技术发展的趋势。

值得注意的是,在微机保护测试方面,已有一些测试设备将EMTP等仿真软件与测试系统结合在一起^[9],对格式化EMTP计算数据和微机故障录波数据进行编辑、回收,而这种尝试对稳定控制装置的测试与仿真的发展意义更大。RTDS就是一个很有发展前景的例子,它实际上是以多DSP并行处理技术为核心的硬件平台与以EMTDC/PSCAD为核心的软件平台的组合,工作站与前置各RACK(含若干DSP处理器)之间以局域网的方式进行通信。在目前一段时期内,硬件结构上以独立CPU智能模块为单位、PC为后台控制管理程序和以PC(数字仿真)为控制中心、通过并口/串口/总线对外围(D/A、放大、平滑等)接口电路进行控制,软件上以数字仿真为核心、实现程序化自动测试将是大多数稳定控制测试

装置的首选方案。

另外,目前的稳控测试装置大多是“离线”式的,即测试必须在装置未投入运行的情况下进行,而鉴于稳定控制的重要性,在一些重要场合被迫用双机

冗余的方式提高稳控装置的可靠性,减少稳控装置的故障切换时间,因此研究能够“在线”预检测的智能测试装置也是迫在眉睫。

表 1 暂稳分析控制常用的仿真软件

Tab. 1 Simulation software often-used in transient stability analysis

| 名称 | 开发单位 | 简介及相关信息 |
|----------------------------|---------------------------------|--|
| EMTP | 由 H. N. Dommel 创建 | 世界上使用最广泛的电力系统仿真软件,常见的为 DOS 版本, http://www.emtp96.com 可下载 Windows 版。最初由 BPA 开发,后经许多科研单位(如加拿大哥伦比亚大学等)不断完善,形成各种不同版本。 |
| PSASP | EPRI CHINA | 国内使用最普遍、拥有自己独立版权的综合分析程序,功能强大齐全并不断完善,符合中国国情。常用的为 5.0/5.1 版,可提供与 BPA、EPRI、IEEE 等数据格式的转换。 |
| BPA | Bonneville Power Administration | BPA(中国版)已由电科院引进并改造发行(Windows 版),以潮流、暂稳程序为核心,辅以单线图格式潮流图程序(Joy)、地理接线图格式潮流图程序(Clique)、稳定曲线作图工具等。 |
| EIMSP | EPRI USA | EIMSP 在美国电力系统仿真中具有权威地位,其与中国薛禹胜院士的 EEAC 软件集成后成为 FASTEST。 |
| PSS/E ^[4] | 美国电力技术(PTI)公司 | 以潮流计算为核心,集成了短路分析、稳定计算功能,可以利用其独有的编程语言 IPLAN 进行二次开发。 |
| MATLAB PSB | Mathworks 公司 | MATLAB Toolbox 及 Simulink 在各工程领域都有着广泛的应用,用于电力系统的主要是 PSB Toolbox,其有效性已被加拿大魁北克电站仿真系统证实,但一般为较简单电力系统的应用。 |
| NETOMAC ^[5] | 德国西门子公司 | 较有特色的是其面向模块的仿真语言 BOSL,开放性、用户自定义功能较强,在欧洲有广大使用者。 |
| Power World ^[6] | Illinois 大学(U.S) | 可模拟互联系统在给定时间段内的运行情况,是一个辅助教学用的可视化仿真软件包,其关于电力交易的模拟很有特色。PowerWorld4.1(教育版)及一些算例可从 http://www.powerworld.com 免费下载。 |
| EMTDC/ PSCAD | 加拿大 Manitoba 大学 HVDC 研究中心 | 是 EMTP 的另一版本,尤其适合于高压直流输电系统的仿真;V3.03 版可以从 http://www.hvdc.ca 免费下载,演示版仅限 15 个节点。它是著名的 RIDS 仿真工具的软件平台。 |
| MicroTran | UBC | 是对 EMTP 的进一步开发;V2.08 版可以从 http://www.microtran.com 免费下载,演示版限于 18 个节点和 12 条支路。 |
| ATP - EMTP | 密歇根理工大学(U.S) | EMTP 的一个独立版本,免费下载: http://www.ee.mtu.edu/atp ; 武汉高压研究所曾对其进行改进。 |
| PSAS | C&S Group | 下载: http://www.interdomain.net.au/~csgroup/cagroup.htm |
| MATPOWER | Cornell 大学(U.S) | 基于 MATLAB 的潮流计算软件;下载: http://www.pserc.cornell.edu/matpower/matpower.html |

7 结语

目前暂态稳定控制测试装置还处于酝酿阶段,国内只有一些如就地判别式切机装置测试仪^[10]等少数报道。随着新一代稳定控制装置的研制开发与通用的自动化产品模拟测试系统^[11],装置的测试与仿真也越来越受到人们的重视,本文作者根据参与课题研究的实践经验,借鉴继电保护测试领域的发展道路,提出了开发通用的稳定控制测试装置的意义与可能性,并浅析了当前稳定控制测试装置与仿真软件的现状与发展趋势,目的仅在于抛砖引玉。

参考文献:

[1] 孙光辉. 电力系统稳定控制装置的模块化结构[C]. 第

六届全国继电保护学术研讨会论文集,1996.

- [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.
- [3] 刘蔚. 硕士学位论文:华中电网稳定性控制研究[D]. 武汉水利电力大学电力系,2000,(6):50-64.
- [4] 张扬,陆承宇,杜振东. 电力系统仿真软件 PSS/E 简介[J]. 华东电力,1997,(1):6-9.
- [5] 韩祯祥,张琦,徐政. 一个大型集成化的电力系统仿真计算软件——NETOMAC[J]. 电力系统自动化,1997,21(9):47-50.
- [6] 韩祯祥,张琦. 电力系统仿真可视化软件包 PowerWorld[J]. 浙江电力,1997,21(9):6-9.

(下转第 44 页)

由于故障分量电流差动保护的应用,配置零序电流差动保护对整个保护装置的灵敏度和动作速度均没有实质性的提高。零序电流差动保护仅仅可在无法使用故障分量电流差动保护的少数场合(如故障频繁发生而且间隔很短的时候)弥补稳态量电流差动保护灵敏度不足的缺陷。

参考文献:

- [1] 华中工学院. 电力系统继电保护原理与运行[M]. 北京:水利电力出版社,1981.
[2] 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用[M]. 北京:

中国电力出版社,1996.

- [3] 尹项根,陈德树,张哲,等. 故障分量差动保护[J]. 电力系统自动化,1999,22(11):13-17.

收稿日期: 2002-06-21

作者简介:

文明浩(1973-),男,博士,从事高压线路保护的研究;

李瑞生(1966-),男,硕士研究生,高级工程师,从事继电保护方面的工作;

王强(1969-),男,硕士研究生,高级工程师,从事继电保护方面的工作。

Analysis of zero sequence current differential protection in phase segregated current

differential protection for transmission lines

WEN Ming-hao¹, LI Rui-sheng², WANG Qiang²

(1. Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

2. XJ Group Corporation, Xuchang 461000, China)

Abstract: Zero sequence current differential protection is expected to improve the performance under high resistance earth fault conditions in phase segregated current differential protection for transmission lines. The results of studies indicate that fault component based differential protection is more sensitive than zero sequence current differential protection. Sets of zero sequence current differential protection have to avoid external three-phase fault imbalance current. The performance of sensitivity and trip time can not be improved by zero sequence current differential protection.

Key words: zero sequence current differential protection; phase segregated current differential protection; fault component based differential protection; relay protection

(上接第 41 页)

- [7] 王鹏,王海猷,王卫国,等. 软件测试在变电站监控主站研制中的应用[J]. 现代电力,1999,(4):65-69.
[8] 曾昭华,蒋卫平. 中国电力科学院研究所电力系统仿真实验室[J]. 国际电力,2001,5(2):43-46.
[9] 王澎. 利用奥秘克朗测试仪对继电保护装置进行电磁暂态试验[J]. 东北电力技术,1999,(7):25-29.
[10] 张建诚,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.
[11] 李国杰,刘昊昱,左群业,等. 自动化产品模拟测试系

统[J]. 继电器,2000,28(8):48-49.

收稿日期: 2002-01-17

作者简介:

姚光华(1976-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统动态安全分析与稳定控制;

赵武智(1974-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统动态安全分析与稳定控制;

陈允平(1945-),男,教授,博士生导师,从事电力系统运行与控制、电能质量、FACTS、电力系统仿真等方面研究。

Initial analysis about measure and simulation for transient stability control equipment

YAO Guang-hua, ZHAO Wu-zhi, LIU Qi-sheng, CHEN Yun-ping

(School of Electrical Engineering of Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: Directed to the biggish disparities between relay protection and stability control devices at the aspects of measure device and simulation, this paper begins from the transient stability control device, analyzes the meaning and possibility of developing general stability control measure device, discusses the relations among measure, simulation and diagnosis and points out a common test flow for stability control device. Then the technology and methods of module measure, integrate measure, digital simulation and simulation software which are important to not only stability control but also relay protection and other automation devices are presented. At the end, the author indicates the developing trends of stability control measure and simulation at the respects of network, intelligitization, realtime, modularization and so on.

Key words: transient stability control; measure device; simulation