

汽轮发电机组轴系扭振保护装置 RTDS 测试

李战鹰, 韩伟强, 黄立滨, 杨煜

(南方电网技术研究中心, 广州 510623)

RTDS Test to Torsional Stress Relay Devices of Turbine Generators

LI Zhan-ying, HAN Wei-qiang, HUANG Li-bin, YANG Yu

(CSG Technology Research Center, Guangzhou 510623, China)

Abstract: The torsional stress relay (TSR) devices has been applied in Pannan plant. In this paper a closed-loop test system is established with RTDS technology to study whether the TSR devices can effectively function to protect the turbine generators. The test system consists of RTDS, TSR devices, power amplifier, real HVDC control and protection equipments. The hybrid HVAC/DC RTDS model of China Southern Power Grid was set up to simulate the combinations of different generators and HVDC operating modes. The issue of converting rotate speed signal into high frequency square wave pulses for the TSR devices has been resolved as well. The functional performance and dynamic performance of the TSR devices were thoroughly tested in the test system, and it is the first time in China for RTDS to be employed to test the TSR devices under the condition of RTDS connected with real HVDC control and protective devices.

Key words: RTDS; subsynchronous oscillation; torsional stress relay; real time digital simulation; closed-loop test

摘要: 利用 RTDS 实时仿真技术, 对盘南电厂装设的机组轴系扭振保护 TSR 装置, 形成闭环测试系统, 对扭振保护装置的性能进行试验研究。闭环测试系统由实时数字仿真系统、扭振保护装置, 功率放大器以及实际的直流控制保护装置等组成。搭建了基于南方电网的交直流混合 RTDS 模型以模拟各种不同开机方式和不同的直流运行方式的系统运行方式。解决了将转速信号转换为扭振保护装置所要求的高频方波脉冲信号的问题。对扭振保护装置的功能和动态特性进行了较为全面的验证。这是国内首次将联接实际直流控制保护装置的 RTDS 应用于汽轮机组扭振保护装置的性能测试。

关键词: 实时数字仿真; 次同步振荡; 扭振保护; 实时数字仿真; 闭环测试

汽轮机和发电机转子惯性大, 对轴系本身的低阶扭转模态十分敏感, 呈低频高应力的受力状态。由电气扰动引起的机组轴系扭振可以分为两类: 一类是由串联电容引起的的次同步谐振 (subsynchronous resonance, SSR) 和有源电力设备及其控制系统 (HVDC、PSS、SVC 等) 引起的次同步振荡 (subsynchronous oscillation, SSO)^[1]。在交直流混合输电系统, 靠近直流换流站的发电机组可能产生这种次同步振荡现象^[2]。自汽轮发电机组扭振现象被发现以来, 国内外对汽轮机组扭振的产生机理及控制方法进行了大量深入的研究^[3-4]。

直流输电系统整流器与其邻近汽轮发电机组轴系的扭振相互作用程度与交流系统的连接强度、直流输送功率、直流系统控制方式等因素密切相关。整流侧附近的电厂机组与直流系统耦合程度高, 且存在交流弱连接, 甚至有孤岛运行方式的可能性, 因此, 有可能引发次同步振荡。

针对这种潜在的次同步振荡, 四方公司研制汽轮机组扭振保护装置^[5], 将其安装在盘南电厂, 以防止在特定的工况下电厂机组与兴安直流激发次同步振荡而造成机组轴系的损坏。

本文基于 2008 年南方电网运行方式搭建等值的交直流混合电网 RTDS 仿真模型^[6], 与实际直流控制保护装置和 TSR 装置形成闭环测试系统, 对直流送端弱联系下可能出现的次同步振荡问题产生的机理进行仿真研究, 并对 TSR 装置的功能和动态特性进行了测试。

1 次同步振荡 (SSO) 产生的机理

HVDC 输电系统引起的次同步振荡 (SSO), 已经确认有两种可能的产生机理, 其中一种与直流输电换流器的快速控制有关。

直流输电换流器控制与邻近汽轮发电机组轴系扭振相互作用的机理, 可用图 1 进行解释: 若机组轴系受到电磁转矩小扰动, 导致某一扭振模态转速和转角摄动 ($\Delta\omega$ 和 $\Delta\theta$), 将引起机端电压幅值与相位的相应摄动 (ΔV 和 $\Delta\theta_V$), 从而导致换流母线电压幅值与相位的摄动, 换流阀触发角将产生相同的摄动 ($\Delta\alpha$), 从而导致直流电压和电流产生摄动 (ΔV_{dr} 和 ΔI_d); 而对应于换流母线电压幅值的摄动, 同样也会使直流电压和电流产生摄动。

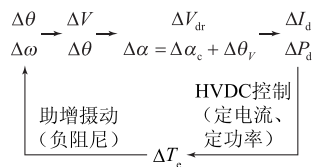


图 1 HVDC 换流器控制引起次同步振荡示意图

Fig. 1 Diagram of SSO Caused by HVDC Converter Control

上述两者的作用将导致直流电压和电流偏离平衡状态, 而 HVDC 控制将感应这种偏差并加以快速校正和调整, 引起发电机电磁转矩的摄动 (ΔT_e), 最终又反馈作用于机组轴系。如果发电机转速变化与由此引起的电磁转矩变化之间的相位滞后 (包括闭环控制系统的附加相位滞后) 超过 90° , 则将形成一种正反馈性质的扭振相互作用, 不断助增摄动幅值, 导致轴系扭振失稳^[7]。

2 TSR 装置的基本原理及试验平台的构建

2.1 TSR 装置的基本原理

轴系扭振保护 (TSR) 装置是一种保护汽轮发电机组轴系安全的装置, 是用于防止次同步谐振对轴系扭振危害的最后一道防线 (见图 2)。

TSR 对运行中的汽轮发电机组轴系提供了监测与保护功能。当电力系统出现次同步谐振时, 由 TSR 先判断 SEDC 不能有效抑制, 经过一定时间, TSR 判断仍然发散, 此时辅以疲劳损失判据, 保护动作切除相关机组, 达到抑制次同步谐振的目的^[5]。

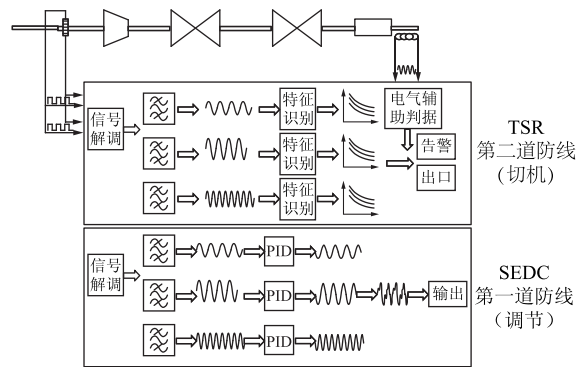


图 2 TSR 装置原理图

Fig. 2 Principle Diagram of TSR

2.2 试验平台的构建

搭建了只含有兴安直流的小系统模型, 兴安直流联接实际直流控制保护装置。整流侧通过八换线、天换线与八河、天生桥侧等值电源相联, 通过盘换甲乙线与盘南电厂三台机组相联, 逆变侧母线联接受端等值电源。该模型可以模拟正常运行、八换线检修、天换线检修和孤岛运行等各种运行方式。RTDS 等值系统的接线图如图 3 所示。

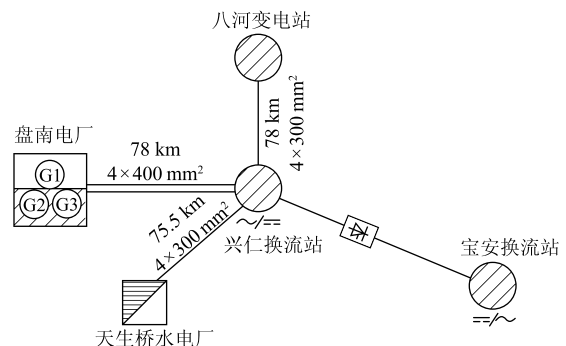


图 3 RTDS 等值系统接线图

Fig. 3 Diagram of Equivalent System of RTDS

3 试验结果分析

结合兴安直流整流侧实际运行中可能出现的各种运行方式, 通过搭建好的 RTDS 仿真试验平台对次同步振荡发生的机理及 TSR 装置的动作特性进行了比较全面的试验研究。

3.1 TSR 装置各模态滤波通道特性测试

在 RTDS 上设计了可以调节频率的高频方波脉冲发生装置, 对 TSR 装置三个模态滤波通道的滤波

特性进行测试。该试验一方面可以确定 TSR 装置模态滤波通道的中心频率，另一方面可以确认滤波通道的带宽。TSR 装置三个模态滤波通道的滤波特性如图 4 所示。

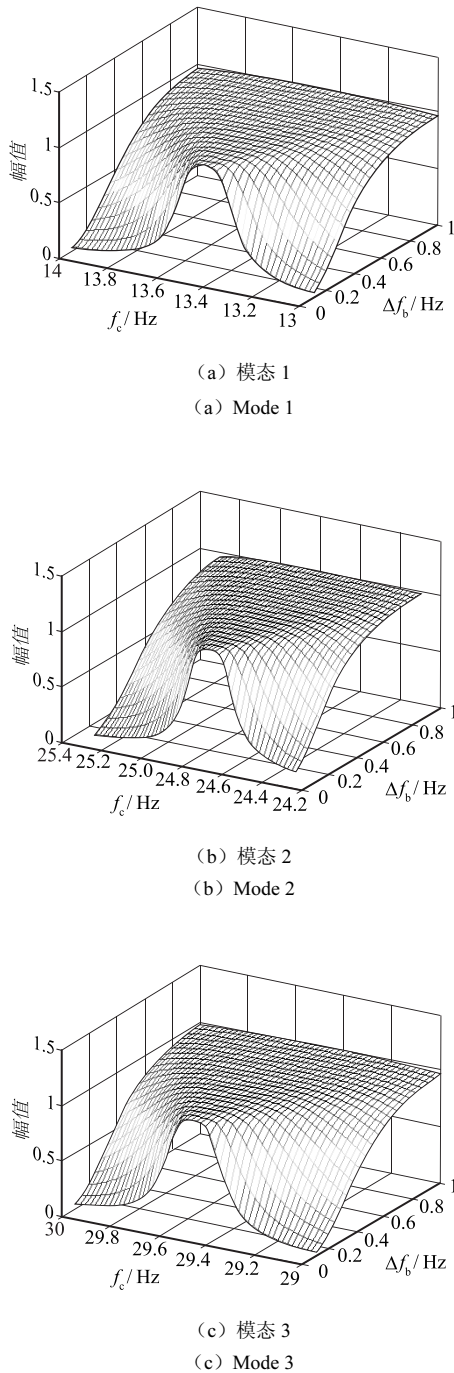


图 4 TSR 装置各模态的滤波特性

Fig. 4 Filtering Characteristics of Each Mode of TSR

测试发现，三个模态的中心频率分别为 13.1 Hz、25.1 Hz 和 29.3 Hz；其中模态 1 和模态 2 的带宽较窄，约为 ± 0.2 Hz。

鉴于实际模态频率可能有一定的不确定性，有必要对 TSR 装置各模态的滤波通道带宽进行调整，在满足非通带衰减能力的前提下，应尽可能取较大的带宽。

3.2 直流 SSDC 投入对 TSR 动作的影响

试验发现，在各种运行方式下，直流投入 SSDC 均可有效抑制次同步振荡，不会引起 TSR 装置动作（见表 1）。

表 1 SSDC 投退对 TSR 装置动作情况的影响

Tab. 1 Influences of SSDC On or Off on the TSR Action

运行方式	系统条件	故障类型	SSDC	TSR
正常	盘南电厂 3 机运行，直流 3 000 MW，100% U_d	八换线三永	有	不动作
			无	动作
正常	盘南电厂 3 机运行，直流 2 100 MW，70% U_d	八换线三永	有	不动作
			无	动作
天换线检修	盘南电厂 3 机运行，直流 1 500 MW，100% U_d	八换线三永	有	不动作
			无	动作
八换线检修	盘南电厂 3 机运行，直流 1 500 MW，100% U_d	天换线三永	有	不动作
			无	动作
孤岛	盘南电厂 2 机运行，直流 840 MW，70% U_d	弱联转孤岛 盘换线三永	有	不动作
			有	不动

3.3 可靠性试验

为检验 TSR 装置对采样信号中信号丢失的处理，考核 TSR 装置在信号丢失的情况下会发生误动。在 RTDS 输出的高频转速信号上进行丢脉冲试验，通过录波文件对 TSR 装置能否正确判断丢失数据进行分析。

在天生桥检修方式下，SSDC 退出，直流传输功率 2 100 MW，直流降压运行，盘南 3 台机组。在八换线上八侧加三永故障 100 ms。不丢脉冲和丢一个脉冲的 TSR 录波文件如图 5、图 6 所示。

由录波文件和 TSR 动作报文可见，进行丢脉冲试验时，TSR 装置发出跳闸信号的时刻提前到丢脉冲时刻，且不丢脉冲和丢脉冲试验的 TSR 装置动作截面也不同。在同样试验条件下，重复进行丢 3 个、6 个脉冲的试验，TSR 装置发出跳闸信号的时刻均

提前到丢脉冲时刻。

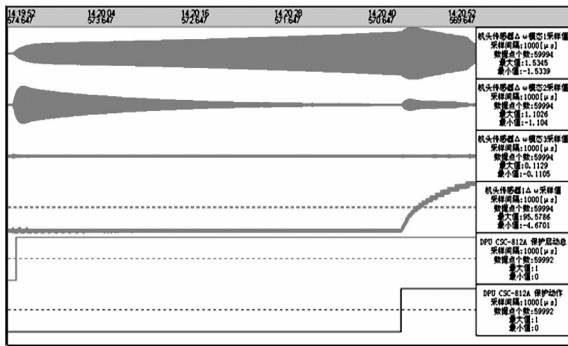


图 5 不丢脉冲时的 TSR 录波文件
Fig. 5 TSR Data File without Pulse Lost

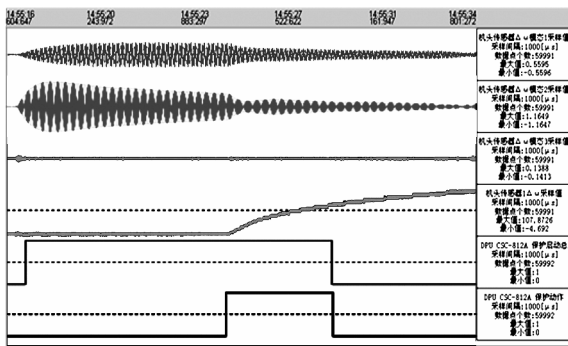


图 6 丢一个脉冲时的 TSR 录波文件
Fig. 6 TSR Data File with One Pulse Lost

丢脉冲试验考验的是 TSR 装置的抗干扰能力, 出现丢脉冲造成 TSR 装置动作提前及动作截面不一样的情况, 须在转速信号的采样和解调环节进行相应考虑。

4 结 语

基于 RTDS 构建直流连接实际直流控制保护装置的仿真试验平台, 对 TSR 装置进行试验研究, 这是 RTDS 应用的又一新的尝试。本次试验研究的主要成果如下:

- (1) 采用连接实际直流控制保护装置的 RTDS 模型进行试验, 能更真实模拟 HVDC 换流器控制与邻近汽轮发电机组轴系扭振的相互作用。
- (2) 利用 RTDS 设计了高频方波脉冲发生装置, 满足了试验要求。
- (3) 发现了 TSR 装置模态 1、模态 2 带宽较窄的问题。

(4) 验证了直流 SSDC 对次同步振荡的抑制作用。

(5) 通过丢脉冲试验发现了 TSR 装置在抗干扰方面存在的缺陷。

参考文献:

[1] IEEE SSR Workinggroup. Proposed terms and definitions of Sub-synchronous Oscillations[J]. IEEE Trans on PAS,1980,99(2):506-511.

[2] 李立涅, 洪潮. 贵广二回直流输电系统次同步振荡问题分析[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(7): 90-93.

LI Li-cheng, HONG Chao. Analysis of the SSO problem caused by Gui-Guang II HVDC transmission system[J]. Automation of Electric Power System, 2007, 31(7): 90-93.

[3] 高文志, 郝志勇. 大型汽轮发电机组轴系扭振控制研制的现状及展望[J]. 发电设备, 1997(3): 6-9.

GAO Wen-zhi, HAO Zhi-yong. Status and prospect of the large scale turbo generator shaft torsional vibration control study[J]. Generation Apparatus, , 1997(3): 6-9.

[4] 余颖辉, 张保会. 汽轮发电机组轴系扭振研究的发展与展望[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(10): 56-60.

YU Ying-hui, ZHANG Bao-hui. Turbo-generator shaft torsional vibration to the development of research and prospect[J]. Automation of Electric Power System, 1999, 23(10): 56-60.

[5] 四方电气集团有限公司.CSC-812 汽轮发电机组轴系扭振保护 (TSR) 保护原理及其实现说明[Z]. 2008.

[6] 李战鹰. 南方电网交直流混合电网 RTDS 建模研究[C]. 2006 全国电力系统自动化学术研讨会, 厦门, 2006.

LI Zhan-ying. Study of ChinaSouthern Power Grid AC/DC hybrid system model constructed with Real Time Digital Simulator[C]. 2006 National Electric Power System Automation Symposium, Xiamen, 2006.

[7] EPRI EL-2708. HVDC system control for damping of subsynchronous oscillations[R]. Project 1425-1 Final Report, 1982.

收稿日期: 2008-07-11

作者简介:

李战鹰 (1973 -), 女. 高级工程师, 博士, 从事电力系统仿真和 RTDS 应用研究工作。

韩伟强 (1962 -), 男. 高级工程师, 硕士, 从事继电保护、电力系统仿真和 RTDS 应用研究工作。

黄立滨 (1974 -), 男. 工程师, 硕士, 从事电力系统仿真和 RTDS 应用研究工作。

(本文责任编辑 张亚拉)