

电力系统稳定器 (PSS) 整定试验过程中机组跳闸的探讨

向保录, 刘冠环

(广东粤江发电有限责任公司, 广东 韶关 512132)

摘要: 对某厂#11机 PSS 参数现场整定试验过程及试验中机组异常误跳的情况进行介绍, 根据发变组失磁保护、励磁系统低励限制的动作情况, 对跳机的原因进行分析, 并对 PSS 投退对低励限制特性的影响、参量变化与阶跃量的关系、低励限制功能的非正常动作与无功尖峰脉冲的异常等进行探讨, 提出通过升级 PSS 模型、校核励磁系统低励限制与发变组失磁保护定值配合及三者之间的整体协调关系最终解决 PSS 试验异常跳机的措施。

关键词: 电力系统稳定器; 现场整定试验; 阶跃试验; 失磁保护; 低励限制

Analysis of generator set tripping during the PSS test

XIANG Bao-lu, LIU Guan-huan

(Guangdong Yuejiang Power Plant, Shaoguan 512132, China)

Abstract: In the paper, the mistrip during the PSS parameters on-site running test on #11 unit is presented. Trip reason is analyzed based on the performances of both generator-transformer loss of excitation protection(GLEP) and the under-excitation limiters (UEL) built-in the excitation system. The influence between UEL characteristics and PSS's on-or-off state, the variation and the step-test magnitude, the unsuspected reaction of UEL and the abnormal var peak pulse, are explored. Some improvements by upgrading PSS model, rechecking UEL limitations and GLEP settings, harmonizing the relations among PSS, UEL and GLEP settings, are proposed.

Key words: power system stabilizer; on-site test; step-test; generator-transformer loss of excitation protection; under-excitation limiter

中图分类号: TM761+11 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2010)11-0121-05

0 引言

近年来, 广东电网与南方电网、香港电网之间经常发生低频振荡, 因某发电厂处于粤北电网末端, 与系统的联接相对较弱, 该厂机组投入经合适整定的 PSS, 既可提高机组的抗扰动能力, 对粤北电网起重要的支撑作用, 又可抑制相关的区域振荡和联网振荡模式、减小有关线路的功率振荡幅值、改善电网的动态稳定性。按照 2007 年南方电网的要求, 该发电厂技术人员配合中试所、励磁系统厂家进行 #11 机组励磁 PSS 参数现场整定试验。

依次进行励磁系统无补偿频率特性测量、PSS 相位补偿参数确定、极限增益试验, 并最终选择其中一组数据作为 PSS 整定参数。在该组整定参数下, 分别进行 PSS 退出、投入运行两种工况下的阶跃响应试验, 比较有功功率的振荡情况, 检验 PSS 阻尼功率振荡的效果。在不投入 PSS 的情况下, 做 3.5% 阶跃扰动试验, 机组能快速恢复正常运行状态; 投入 PSS, 再次做 3.5% 阶跃扰动试验的下阶跃时, 该机组的发变组失磁 I 段保护动作, 跳开主变高压侧

开关、灭磁开关、厂用电 6 kV 工作电源开关, 备用电源自投成功。

1 励磁调节器及 PSS 模型简介

#11 机组为东方电机股份有限公司生产的 QFSN-300-2-20B 型汽轮发电机, 单元接线方式, 自并励静止励磁方式, 调节器采用南瑞集团公司研制生产 SAVR-2000 型、带手动功能的两个自动控制通道微机励磁调节器, 主通道采用并联型 PID 控制, 附加励磁控制采用发电机电功率输入信号的 PSS 控制, PSS 环节采用 IEEE-1A 模型, 其输出叠加在励磁调节主控制的电压相加点上, 励磁调节器及 PSS 模型如图 1 所示。其中: $K_p=48$, $K_I=28$, $K_D=1.5$ 。

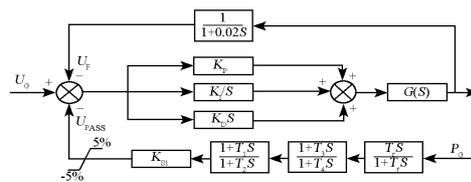


图 1 励磁调节器及 PSS 模型

Fig.1 Excitation regulator and the PSS model

2 试验过程

2.1 试验准备

调节器厂家确定噪声信号的幅值和输入调节器的接线端子；屏蔽线将噪声信号通过带有辅助接点开关引入调节器，开关切除时既实现外加信号和励磁调节器输入的电气隔离，又同时短接励磁调节器的输入；试验仪器的外壳可靠接地，所提供的 220 V 交流电源的地线可靠接地。所有设备均放置在发电机励磁调节器旁，从励磁调节器端子排上引出、接入信号，需接入仪器的量分别是机端三相电压、三相电流、励磁电压。用动态信号分析仪测量无补偿频率特性和有补偿频率特性，其激励信号（类型为伪随机噪声信号）由动态信号分析仪产生，通过开关隔离后送入励磁调节器的 A/D 接口（并接硬件限幅回路，限幅值约 3%~5%额定电压）。发电机电压信号则通过测量接口板 FLC-2C 转换后引入动态信号分析仪，接线如图 2 所示。

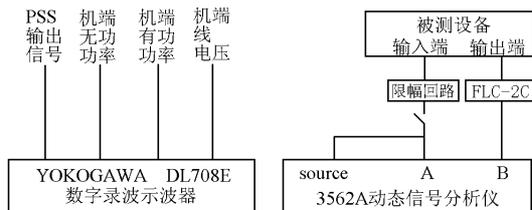


图 2 现场测量接线图
Fig.2 Test wiring diagram

2.2 无补偿频率特性的测量和 PSS 相位补偿参数的确定

接线完毕，运行人员开始调整试验工况，按照标准要求调整、维持机组的有功功率 $P=287$ MW、无功 $Q=0$ Mvar 左右，机端电压 $U_g=20\ 000$ V。在励磁调节器的 A/D 接口加入随机噪声电压信号，通过软件开关将外加信号加入到励磁调节器的电压相加点；机端电压经电量测试仪 FLC-2C 后也接入动态信号分析仪的输入端子。从零逐步增加伪随机噪声信号的电平至发电机无功功率及发电机机端电压有明显变化，测量发电机电压对于 PSS 输出信号叠加点的相频特性，即励磁系统无补偿频率特性，测量结果如图 3 所示。可见，在频段 0.1~2 Hz 内，励磁系统的相位滞后大约在 $-52^\circ \sim -91^\circ$ 之间，在 1.6 Hz 左右有一个明显的拐点，因此本机振荡频率约为 1.6 Hz。

根据无补偿相频特性测试结果及《大型汽轮发电机自并励静止励磁系统技术条件》（DL/T 650-1998）的要求，对 PSS 频率响应特性进行仿真

修正计算和 PSS 参数设计，得到 4 组 PSS 参数。将所测得的无补偿频率特性与 PSS 单元频率响应特性相加，检查其在 0.2 Hz~2.0 Hz 频带内的相位滞后情况，使 PSS 输出的力矩向量对应 $\Delta \omega$ 轴在超前 $10^\circ \sim$ 滞后 45° 内，并使本机振荡频率力矩对应 $\Delta \omega$ 轴在 $0^\circ \sim$ 滞后 30° 间（根据国标规定，采用电功率 $-\Delta P_e$ 为输入信号的有补偿相频特性应该在 $-80^\circ \sim -135^\circ$ 之间），设计的 4 组 PSS 参数如表 1 所示，有补偿频率响应特性特性如图 4 所示，在频段 0.1~2 Hz 内，有 PSS 时励磁系统的相位在滞后大约在 $-85^\circ \sim -109^\circ$ 之间，PSS 对该频段内与本机组相关的振荡模式提供正阻尼，其相位补偿满足要求。

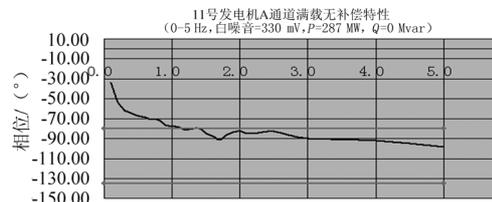


图 3 励磁系统无补偿相频特性

Fig.3 Phase-frequency characteristics of excitation system without compensation

根据无补偿相频特性测试结果及《大型汽轮发电机自并励静止励磁系统技术条件》（DL/T 650-1998）的要求，对 PSS 频率响应特性进行仿真修正计算和 PSS 参数设计，得到 4 组 PSS 参数。

表 1 参数设计

Tab.1 Parameters design

序号	T_r	T_1	T_2	T_3	T_4
1	5	0.42	2	0.09	0.07
2	5	0.38	2	0.09	0.08
3	5	0.34	2	0.09	0.09
4	5	0.32	2	0.08	0.1

将所测得的无补偿频率特性与 PSS 单元频率响应特性相加，检查其在 0.2~2.0 Hz 频带内的相位滞后情况，使 PSS 输出的力矩向量对应 $\Delta \omega$ 轴在超前 $10^\circ \sim$ 滞后 45° 内，并使本机振荡频率力矩对应 $\Delta \omega$ 轴在 $0^\circ \sim$ 滞后 30° 间（根据国标规定，采用电功率 $-\Delta P_e$ 为输入信号的有补偿相频特性应该在 $-80^\circ \sim -135^\circ$ 之间），设计的 4 组 PSS 参数如表 1 所示，有补偿频率响应特性特性如图 4 所示，在频段 0.1~2 Hz 内，有 PSS 时励磁系统的相位在滞后大约在 $-85^\circ \sim -109^\circ$ 之间，PSS 对该频段内与本机组相关的振荡模式提供正阻尼，其相位补

偿满足要求。

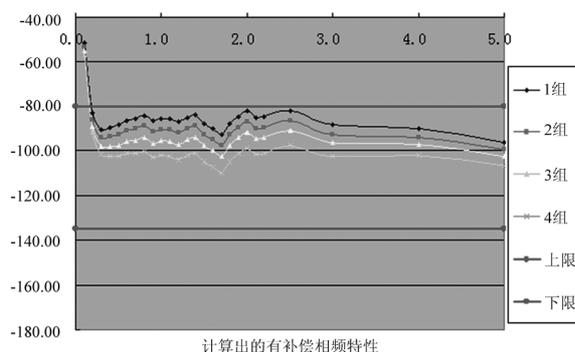


图 4 有补偿相频特性设计

Fig.4 Phase-frequency characteristics design with PSS compensation

2.3 PSS 环节增益试验

根据上述结果和经验, 按设计的第 3 组试验参数整定并投入励磁调节器 PSS, 进行极限增益试验, 逐渐增大 K_{s1} 值, 使有功功率轻微摆动、励磁电压产生明显的有规律摆动。当 $K_{s1}=16$ 时, 如图 5 所示, 发电机有功功率 P 仍比较平稳, 励磁电压 UFD 出现轻微的电感环振荡的趋势。为留有足够裕度, 即认为该 K_{s1} 值为临界增益, 按照标准要求应取临界增益的 $1/3 \sim 1/5$ 来确定 PSS 放大倍数^[2], 试验参数最终取 $K_{s1}=4$ 。

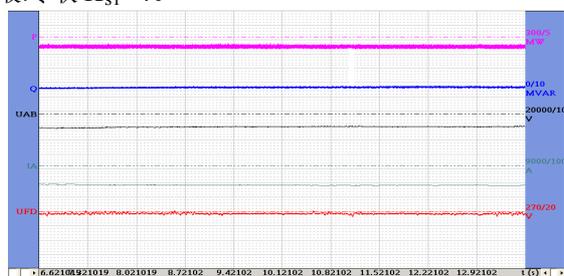


图 5 有 PSS 满载时极限增益试验

Fig.5 Ultimate gain test under full load condition with PSS

通过励磁调节器的监控软件, 在参考电压点叠加入 $\pm 1\%$ 的阶跃扰动量, 进行无 PSS 阶跃扰动试验 (先做正扰动, 后做负扰动, 之间间隔约为 10 s), 记录有功功率的摆动幅值和次数。逐步增加阶跃量, 当阶跃量增至 3.5% 时, 发电机组有功功率波动的峰-峰值达到 27.08 MW, 约为额定有功功率的 9.03%。从波形图 6 可见, 上阶跃时振荡约为 4.5 周, 下阶跃时振荡约为 3.5 周, 通过计算得到振荡频率为 1.64 Hz 左右, 该频率点与无补偿频率特性测量得到的凹陷点频率一致。在阶跃试验过程中, 无功功率的最大值达到 87.17 Mvar, 最小值达到 -8.57 Mvar, 扰

动的大小比较明显, 故选定 3.5% 阶跃量作为此次负载阶跃扰动试验的阶跃量。

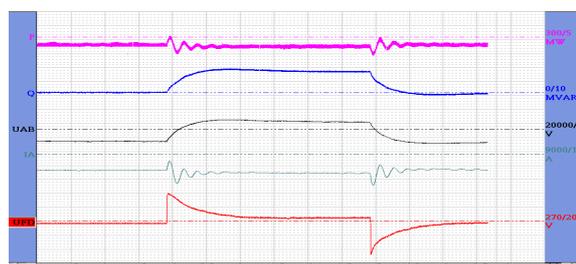


图 6 无 PSS 满载 3.5% 阶跃试验

Fig.6 3.5% full load step-test without PSS

按第 3 组参数整定并投入 PSS, 进行满载 3.5% 阶跃试验, 试验结果如图 7 所示。测得的有效功率峰峰值为 24.64 MW, 可见, 投入 PSS 后振荡功率峰-峰值均降至无 PSS 时的 75% 左右, 振荡仅持续半周后收敛, 设计的 PSS 参数对于本机振荡频率 1.6 Hz 左右的有功振荡有很好的抑制效果, 证明补偿的正确性。上阶跃期间, 励磁电压 UFD 由 244.75 V 增至 471.80 V, 励磁电压变化量达到 227.05 V。无功由 0 Mvar 增至 143.12 Mvar, 然后衰减, 到下阶跃试验时, 无功降至 94.23 Mvar。励磁电压 UFD 由 308.84 V 降至 -20.14 V, 励磁电压变化量达到 328.98 V, 很明显, 此时的阶跃量已并非所设置的 3.5%, 而是远大于 3.5%, 在这样的一个大负阶跃情况下, 无功功率迅速衰减, 但低励限制 (-30 Mvar) 没有将无功限制住, 导致失磁保护动作。



图 7 有 PSS 满载 3.5% 阶跃

Fig.7 3.5% full load step-test with PSS

3 保护动作分析

3.1 发变组保护动作分析

失磁保护是反应发电机励磁回路故障引起发电机异常运行的保护, 该机发变组保护为南瑞继保生产的 RCS-985A、B 两套保护装置, 现场检查二者均发出“失磁 I 段保护 0.5 s 动作”的报文, 其动作判据逻辑如图 8 所示。

根据机组故障录波器记录数据计算保护动作前

机组阻抗 100~500 ms 的动作轨迹,可看出当时机组运行阻抗在保护动作区内,满足定子侧阻抗判据(定值:选取静稳圆,阻抗 1 为 7.2Ω,阻抗 2 为 33Ω);保护启动 0.5 s 内,转子电压最低 25.1 V,最高 57.63 V,均低于定值 75 V,满足转子电压低判据;无功反向启动时为-56 Mvar,最低达到-78 Mvar,满足无功反向-45 Mvar 判据条件;同时保护动作前有功率一直维持在 260~280 MW 之间,远远大于定值 120 MW,满足减出力判据。这四个逻辑判据均已满足,该两套保护动作出口正确。

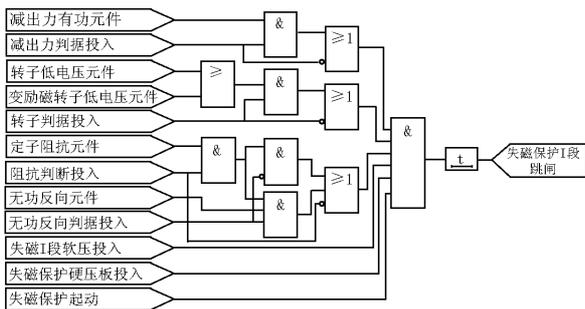


图 8 失磁保护 I 段逻辑框图

Fig.8 First stage active logic diagram of excitation loss protection

3.2 励磁系统动作分析

试验前将低励限制参数修改为 (0 MW,-60 Mvar) 和 (300 MW, -30 Mvar), 在不投 PSS 的情况下做 3.5%阶跃试验,无功功率最高达到 87.17 Mvar,最低达到-8.57 Mvar,其变化在低励限制参数允许范围内。设定 PSS 相关参数,投入 PSS 做 3.5%阶跃试验,无功功率最高达到 143.12 Mvar,最低达到-89.23 Mvar,根据 DCS 历史记录数据,CRT 上软光字牌在 2211 开关跳开前 0.7 s 励磁调节器发出“低励限制动作”告警,运行人员也记录到这一报警光字排。可见,下阶跃试验过程中,励磁系统的实际运行参数已远远超出低励限制范围,且调节器低励限制功能已动作,但却没有将无功限制在设置范围内,直至失磁保护 I 段动作跳闸。

4 讨论

4.1 PSS 的投入与退出的影响

励磁系统在投入 PSS 后无法将无功功率控制在设置的限制参数范围内。无 PSS 进行 3.5%阶跃试验,励磁调节器可将无功功率限制在允许范围内,而投入 PSS 且在相同的阶跃量条件下试验时,励磁调节器却无法将无功功率限制在允许范围内,显然 PSS 的投入与退出影响到励磁调节器的低励限制特

性。

4.2 参数的变化量与阶跃量的关系

根据同类试验的数据特点^[3-6],上、下阶跃时的无功、励磁电压均应基本对称,无功略有小超调,最后很快回到 0,各参数的变化量大致与阶跃量成正比。在该机组的试验中,无 PSS 时,参量变化正常,但投入 PSS 后的波形则出现了明显的不对称。而且在上阶跃时,无功功率增至 143.12 Mvar,然后降至 94.23 Mvar,差值接近 50 Mvar,无功功率下滑非常严重。而下阶跃时,无功和励磁电压的阶跃量出现了明显的增长,励磁电压变化量增大了 45%。无功快速下降至-74 Mvar(机组故障录波值为-76 Mvar)时超过了发变组失磁保护 I 段定值(-56 Mvar, 0.5 s)造成该保护动作跳机,虽然未录到最大值,根据各参数的变化量大致与阶跃量成正比关系推测,其终点如果不受限制的下滑,应该会达到-110 Mvar 左右。事后咨询调节器厂家得知程序设置的上下阶跃量一致,但低励限制的此次动作似乎与程序设置不符。

4.3 低励限制功能的发挥

试验前励磁厂家将低励限制值改为 (0 MW, -60 Mvar)、(300 MW, -30 Mvar) 两点的连线,折算成当时的 287 MW 对应值,限制值应该为 (287 MW, -31.3 Mvar);由试验录波图分析,从该点一直到跳机的时间为 750 ms,如果低励限制正确动作,应能将无功功率限制住,防止其继续下滑,但从曲线趋势上看,低励限制功能似乎没有发挥作用。低励限制模块作为防止发电机失磁、失步的限制功能,要求快速动作,此套调节器中厂家设置值则为 60 ms。

4.4 尖峰脉冲的异常

从图 7 还可以看出,励磁电压在返回的过程中正好出现一个反向的尖峰脉冲,分析发现该尖峰对应的无功功率也正好在低励限制动作值(-31.3 Mvar)附近,该异常有待进一步研究。

基于机组运行经济性考虑和试验过程的不可重现性,导致 PSS 试验过程中失磁保护动作跳机的真正原因无法通过试验方法进行查找、验证,综合整个试验过程,以上对其中存在的疑点进行初步讨论,以便同行在进行同类试验时参考或引起关注。

5 结束语

1) 该机组励磁调节器软件为 SAVR-2000 的旧版本,PSS 环节采用 IEEE-1A 模型,建议励磁调节器厂家将其升级为 IEEE-2A 模型,同时对在投入 PSS 的阶跃试验中出现的无功及励磁电压的几点异常表

现进行研究分析,查明真正原因。

2) 低励限制模块防止发电机失磁、失步具有关键作用,建议对励磁调节器低励限制的动态品质和稳定性、与发变组失磁保护定值整定配合^[6-8]、与PSS功能之间的协调进行整体检验、核算。

参考文献

- [1] 袁训奎,赵红光,等.电力系统稳定器(PSS)试验若干问题研究[J].中国电力,2005,38(3):23-25.
YUAN Xun-kui, ZHAO Hong-guang, et al. Research on some problems about the test of power system stabilizer[J]. Electric Power, 2005, 38(3):23-25.
- [2] 国家电网公司. Q/GDW 143-2006 电力系统稳定器整定试验导则[M].北京:中国电力出版社,2006.
National Grid Company. Q/GDW 143-2006 guide for setting test of power system stabilizer[M]. Beijing:China Electric Power Press, 2006.
- [3] 肖莹,王述仲.实测法电力系统稳定器参数整定应用[J].山西电力,2005,28(5):29-31.
XIAO Ying, WANG Shu-zhong. Application of power system stabilizer parameter setting based on real measurement[J]. Shanxi Electric Power, 2005, 28(5):29-31.
- [4] 樊茜,杨立强,等.小浪底电厂电力系统稳定器的参数选择和试验[J].现代电力,2004,21:40-44.
FAN Qian, YANG Li-qiang, et al. Parameters ascertaining and experiment on PSS in Xiaolangdi power plant[J]. Modern Electric Power, 2004, 21:40-44.
- [5] 雷传友,冯喆,等.二滩水电站励磁系统数学模型参数测试及PSS参数整定[J].电网技术,2005,29(6):49-52.
LEI Chuan-you, FENG Zhe, et al. Parameter testing of mathematical model for excitation system of Ertan

hydro power station and parameter setting of its PSS[J]. Power System Technology, 2005, 29(6):49-52.

- [6] 张军政.华润电厂300MW发电机组的电力系统稳定器参数整定试验[J].电网技术,2005,29(11):73-76.
ZHANG Jun-zheng. Parameter setting test of power system stabilizer for 300 MW generator in Huarun power plant[J]. Power System Technology, 2005, 29(11):73-76.
- [7] 李基成.现代同步发电励磁系统设计及运用[M].北京:中国电力出版社,2002.
LI Ji-cheng. The design and application study on modern synchronous generator excitation system[M]. Beijing:China Electric Power Press, 2002.
- [8] 竺士章.发电励磁系统试验[M].北京:中国电力出版社,2005.
ZHU Shi-zhang. Test of generator excitation system[M]. Beijing:China Electric Power Press, 2005.
- [9] 刘取.电力系统稳定性及发电机励磁控制[M].北京:中国电力出版社,2007.
LIU Qu. Power system stability and generator excitation control[M]. Beijing:China Electric Power Press, 2007.

收稿日期:2009-03-04; 修回日期:2009-03-27

作者简介:

向保录(1974-),男,工程硕士,工程师,技师,从事发电厂电气设备检修管理;E-mail:nosaxiang@yahoo.com

刘冠环(1964-),男,大专,助理工程师,技师,从事发电厂电气设备检修管理。

(上接第116页 continued from page 116)

5 结论

本文所介绍的嵌入式通信管理机自2008年完成整个系统的功能开发及测试后,至今已有近百套投入现场运行。该嵌入式通信管理机以其功能强、性能稳定、运行可靠,赢得了良好的声誉。同时,随着技术的发展,嵌入式通信管理机在工业系统信息化中也将发挥更大的作用。

参考文献

- [1] (美)史蒂文斯,(美)拉戈.UNIX环境高级编程[M].尤晋元,张亚英,戚正伟,译.北京:人民邮电出版社,2006.
- [2] Rusling D A,等.Linux编程白皮书[M].朱珂,译.北

京:机械工业出版社,2000.

- [3] 徐千洋.Linux C函数库参考手册[M].北京:中国青年出版社,2002.
- [4] 孙琼.嵌入式Linux应用程序开发详解[M].北京:人民邮电出版社,2006.

收稿日期:2009-09-18; 修回日期:2009-10-21

作者简介:

陈杰(1967-),男,本科,高级工程师,从事电力系统继电保护及自动化的研发及工程工作;E-mail:Jiech@xjgc.com

杜伟春(1974-),男,本科,工程师,从事电力系统的运行维护工作;

王振岳(1979-),男,本科,工程师,从事电力系统继电保护及自动化的研发及工程工作。