

电力系统稳定器 PSS2A 现场试验及参数整定

杨立环, 徐峰, 胡华荣, 王翔, 高守义

(南京南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211100)

摘要: 介绍了汽轮发电机组现场 PSS 试验和南瑞继保公司的 PCS-9410 励磁调节器中 PSS2A 模型及其参数整定过程, 总结了 PSS 现场试验流程及方法。同时根据现场试验数据, 应用频率响应法对励磁系统的电力系统稳定器 PSS 模型的参数进行了整定, 验证了投入的电力系统稳定器对增强系统的阻尼具有很好的效果。

关键词: 励磁系统; 模型; PSS2A; 参数整定

Test and parameter-setting of power system stabilizer -PSS2A

YANG Li-huan, XU Feng, HU Hua-rong, WANG Xiang, GAO Shou-yi

(Nanjing NARI-Relays Electric Co. Ltd, Nanjing 211100, China)

Abstract: This paper introduces the site PSS tests of generator units, introduces PSS2A model and parameter setting in PCS-9410 excitation regulator of NARI-Relays, and summarizes the proceeding and method of PSS tests. The parameters of power system stabilizer (PSS) for the excitation system are set by using test data and frequency response analysis method. The PSS is proved that it is effective to improve the damping of power system.

Key words: excitation system; model; PSS2A; parameter setting

中图分类号: TM712 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2010)01-0112-03

0 引言

随着大机组快速励磁系统的应用, 全国联网工程的不断实施, 电力系统低频振荡(0.2~2.5 Hz)出现频度呈上升趋势, 电力系统稳定器(PSS)作为抑制低频振荡最有效的措施越来越受到重视。本文介绍的机组为已投运的汽轮发电机组, 励磁调节器为南瑞继保公司生产的PCS-9410型微机励磁调节器。按照电网安全稳定的要求, 该机组应将励磁系统中的电力系统稳定器投入运行, 以抑制可能出现的低频振荡, 提高电力系统的稳定性。

1 机组参数

本文介绍的进行PSS试验的机组为某发电厂汽轮发电机组, 系统对该机组励磁系统中的PSS性能要求满足标准中规定的PSS相位补偿要求、PSS增益调整要求以及PSS输出限幅要求, 并同时具有自动、手动投切和故障退出等功能, 其机组参数如表1所示。

2 PSS2A传递函数模型

PCS-9410励磁调节器采用的是IEEE的PSS2A模

表1 机组参数

Tab.1 Parameters of generator units

序号	名称	参数
1	额定容量	353 MVA
2	额定有功	300 MW
3	额定无功	186 MW
4	功率因数	0.85
5	额定电压	20 kV
6	额定电流	10 189 A
7	额定励磁电压	364 V
8	额定励磁电流	2 642 A
9	空载励磁电压	145 V
10	空载励磁电流	1 052 A
11	发电机横轴阻抗	1.836
12	发电机暂态阻抗	0.340
13	励磁方式	自并励

型, PSS采用 ω 和 P 双输入, 其中 ω 值可以选择外部信号引入或者调节器内部计算得到, 该模型可以有效抑制调整有功负荷时PSS有输出导致无功变化的“反调”现象, 并对各种频率的低频振荡都有明显的阻尼效果。其传递函数模型主要由输出限幅环节、

增益调整环节、三阶超前滞后相位补偿环节、 ω 和P双输入隔直环节和滤波环节组成。

PSS2A 传递函数模型如图 1 所示。

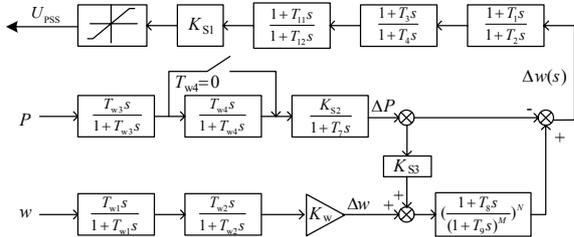


图 1 PSS2A 传递函数模型

Fig.1 PSS2A transfer function model

PSS2A 传递函数参数说明如表 2 所示。

表 2 PSS2A 传递函数参数说明

Tab.2 Parameters of PSS2A transfer function

T_{w1}, T_{w2}	转速输入的两阶隔直环节
T_{w3}, T_{w4}	有功功率输入的两阶隔直环节
K_{S2}	功率增益系数
K_w	转速测量因子
T_7	功率及转速转换环节相位补偿时间常数
K_{S3}	功率及转速转换系数
T_8, T_9	滤波环节时间常数
N, M	滤波环节阶数
T_1, T_2	第一级超前滞后相位补偿时间常数
T_3, T_4	第二级超前滞后相位补偿时间常数
T_{11}, T_{12}	第三级超前滞后相位补偿时间常数
K_{S1}	PSS 增益系数

3 PSS 现场试验项目

3.1 励磁系统无补偿频率特性的测量

励磁系统无补偿频率特性是指发电机并网、PSS没有投入的条件下，测量机端电压与PSS送加点之间的频率响应特性，可以通过频谱仪加入噪声信号测得需要频段内的频率响应特性。

试验中将励磁调节器 PSS 功能退出运行，发电机有功功率增加到 80% P_N 以上，无功功率降到 20% 以下，在 PSS 输出信号送加点输入白噪声信号，用频谱仪测量发电机电压对于 PSS 输出信号送加点的相频特性即励磁系统无补偿频率特性（也称为励磁系统滞后特性），如表 3 所示。

3.2 PSS 参数计算

PSS 参数整定应使频率特性在较宽的频带内，相位有较好的补偿，使在该电力系统低频振荡区内，PSS 输出的力矩向量对应 $\Delta \omega$ 轴超前不大于 10° 、

滞后不大于 45° ，并使在本机振荡频率的力矩，滞后 $\Delta \omega$ 轴在 $0^\circ \sim 30^\circ$ 之间。根据上述 PSS 参数的整定原则，用逐步逼近的方法可确定 PSS 的参数，其中 PSS 的增益通过临界增益试验确定。整定的 PSS 参数见表 4。

表3 励磁系统滞后特性

Tab.3 Frequency response of excitation system

频率/Hz	励磁滞后角度/($^\circ$)	频率/Hz	励磁滞后角度/($^\circ$)
0.1	-19	1.1	-90
0.2	-46	1.2	-95
0.3	-57	1.3	-99
0.4	-70	1.4	-108
0.5	-74	1.5	-114
0.6	-80	1.6	-116
0.7	-82	1.7	-118
0.8	-84	1.8	-115
0.9	-85	1.9	-115
1	-88	2	-116

表4 PSS整定参数

Tab.4 Parameter setting of PSS

PSS 增益系数(K_{S1})	3.5	有功隔直时间(w_3)	5.00 s
相位补偿时间(T_1)	0.300 s	有功隔直时间(w_4)	0.00 s
相位补偿时间(T_2)	0.050 s	转速隔直时间(w_1)	5.00 s
相位补偿时间(T_3)	0.200 s	转速隔直时间(w_2)	5.00 s
相位补偿时间(T_4)	0.020 s	滤波时间(T_8)	0.600 s
相位补偿时间(T_{11})	0.000 s	滤波时间(T_9)	0.120 s
相位补偿时间(T_{12})	0.000 s	滤波阶数(N)	1
转换系数(K_{S3})	1.000	滤波阶数(M)	5
频率补偿时间(T_w)	0.000 s	转速测量因子(K_w)	0.580
功率补偿时间(T_7)	5.000 s	功率增益系数(K_{S2})	0.570

根据上面所列的 PSS 参数，计算可得到 PSS 环节相移角度，最终得到的补偿前后频率补偿滞后特性数据(见表 5 和图 2)。

从表5和图2的机组补偿前后相频特性上可看出: 0.9 Hz时，PSS基本无补偿；小于0.9 Hz时，提供滞后补偿；大于0.9 Hz时，提供超前补偿。同时在 0.2~2 Hz的频率范围内，机组励磁系统PSS产生的电磁力矩均靠近 $\Delta \omega$ 轴，满足标准要求，具有较宽的补偿特性，对各种振荡频率都具有较好的阻尼，PSS相位补偿满足要求。

3.3 PSS环节临界增益测试

试验时，在选定的相位补偿参数下，缓慢增大 PSS环节的增益，同时仔细观察励磁系统各可观测量

的变化。增加增益前，应将PSS退出，增益增加完成后，经过一段时间，在过渡过程结束后，再将PSS投入。当出现稳定周期持续振荡或增幅扩散振荡后，PSS应立即退出运行，记录此时的PSS增益，即为最大增益或临界增益，PSS的最终设定增益一般取临界增益的1/3~1/5，试验中最终得到的 K_{s1} 为3.5。

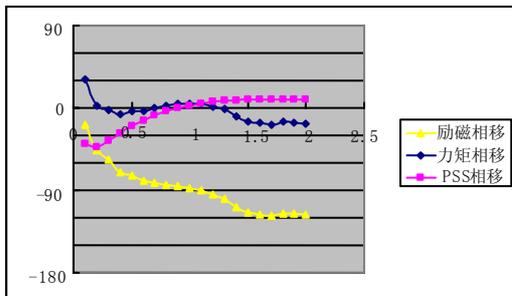


图2 频率补偿滞后特性图形

Fig.2 Frequency response of excitation system

表5 频率补偿滞后特性数据

Tab.5 Frequency response of excitation system

频率 /Hz	励磁相移 角度/(°)	pss 相移 角度/(°)	力矩相移角度/(°) (相对于 $\Delta \omega$ 轴)
0.1	-19	-39.368 6	31.631 41
0.2	-46	-42.185 1	1.814 949
0.3	-57	-35.286 3	-2.286 28
0.4	-70	-27.238 1	-7.238 05
0.5	-74	-19.791 3	-3.791 32
0.6	-80	-13.380 3	-3.380 3
0.7	-82	-8.043 87	-0.043 87
0.8	-84	-3.689 93	2.310 067
0.9	-85	-0.190 01	4.809 987
1	-88	2.584 705	4.584 705
1.1	-90	4.750 427	4.750 427
1.2	-95	6.407 281	1.407 281
1.3	-99	7.639 667	-1.360 33
1.4	-108	8.517 987	-9.482 01
1.5	-114	9.100 719	-14.899 3
1.6	-116	9.436 395	-16.563 6
1.7	-118	9.565 339	-18.434 7
1.8	-115	9.521 132	-15.478 9
1.9	-115	9.331 815	-15.668 2
2	-116	9.020 881	-16.979 1

3.4 PSS效果验证

PSS 环节参数整定完成后，需要通过试验验证 PSS 投入效果。常用的方法有：(1) 负载阶跃响应检验；(2) 有功功率幅频特性检验；(3) 发电厂出线

有功功率检验。第(1)种方法现场试验运用较多。负载阶跃响应方法简单，对系统的扰动小，易于实施。但负载阶跃试验只能激发本机振荡频率的振荡，检验的是该频率下的 PSS 作用，对于其它振荡频率下 PSS 的作用无法检验。阶跃响应信号从 AVR 的电压参考点上加入，其幅值一般为 1%~4% 额定参考电压值。录取有 PSS 和无 PSS 两种情况下的波形，通过分析可看出 PSS 的效果。图 3、图 4 是表 2 所示参数下，未投入和投入 PSS 时的+2%和-2%阶跃响应录波，从图 3、图 4 上可看出：PSS 投入前，有功最大峰值为 262.69 MW，有功最小谷值为 251.17 MW，振荡次数为 3 次；PSS 投入后，有功最大峰值为 260.30 MW，有功最小谷值为 252.41 MW，振荡次数为 1.5 次，系统阻尼明显增强，具有较好的抑制振荡效果。



图3 无 PSS 阶跃试验波形

Fig.3 Response of step-test without PSS

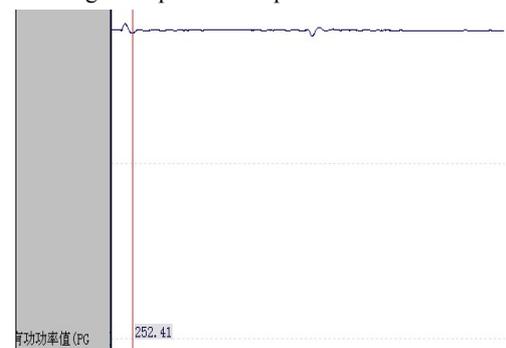


图4 有 PSS 阶跃试验波形

Fig.4 Response of step-test with PSS

3.5 抗反调试验

PSS的原理是通过励磁系统的作用抑制有功功率的低频振荡，即引入附加控制量来抑制有功功率的波动。所谓“反调”就是指：因PSS的原因，当原动机输出功率增加(或减少)时引起PSS环节有附加的输出产生，并导致励磁电压、同步发电机电压

(下转第128页 continued on page 128)

由于内部逻辑已经更改完毕，低压后备保护的电流量输入和断路器位置输入回路已经具备，所以在此仅需将低压盲区保护动作触点通过外部接线引到跳高压侧断路器的回路中。由于盲区保护不同于一般的低压后备保护，所以如果故障点不在盲区，即动作逻辑是由复合电压回路开放，则此回路不会导通，因此在试验中应将两者区分清楚，以免出现误跳的情况。

4.3 实际应用中需要考虑的问题和应对措施

在实际应用中，由于运行方式的不同，会引起保护装置的误判断，为此需要实施针对性的措施。

在两圈变中，当低压侧开关断路器处冷备用或检修，而高压侧断路器和主变运行时，为防止低压侧断路器位置变化引起高压侧保护频繁启动，应设置一块低压侧断路器位置输入压板(如图 10 所示)，在此时应断开以避免干扰。当低压侧开关热备用和运行后则要及时放上此压板。

在三圈变中，除了有两圈变同样的问题外，还需要考虑高、中(低)压侧断路器运行而低(中)压侧断路器热备用的情况下，可能会发生中(低)压侧线路短路引起高压侧保护过流启动，在低(中)压侧断路器断开位置下动作跳开高、中(低)压侧断路器的情况，因此需要注意动作时限的配合。对三圈变建议采用改变中(低)压侧保护逻辑和接线的方法，以避免出现这种情况。

(上接第 114 页 continued from page 114)
及无功功率减少(或增加)的现象。现场试验时，确认退出AGC及其它对机组出力的自动调整，采取可靠手段改变原动机出力，变化量可选10% P_N ，变化速率按照设定的正常调节最大速率，记录并观察有PSS情况下机端电压、有功功率及无功功率的波动情况，波动范围应在允许范围内。

试验中机组带 80% P_N ，少量无功，在 PSS 投入的情况下，电厂正常运行情况下最速度的先增加有功功率至 90% P_N ，然后再以同样的速度将减少有功功率至 80% P_N ，同时，录取发电机有功无功波形，发现发电机机端电压、无功功率无明显波动，说明 PSS 无“反调”现象。

4 结语

本文介绍的汽轮发电机组自并励励磁系统 PSS 投运现场试验的顺利完成及明显的阻尼振荡的效果，表明了 PCS-9410 励磁调节器 PSS2A 模型及参数整定的合理性，该模型已先后在多台机组上应用，效果良好，参数整定方便，试验流程简单清晰，具

5 结语

多年来，主变的运行安全一直受到高度的重视，许多专家和专业人员对主变内部故障机理进行了多方面、多层次的研究。但主变的外部故障同样会带来较大的损害，因此需要考虑在各种运行条件下故障的可能性和保护的動作情况，发现可能存在的问题，并及时的处理和解决。

参考文献

[1] 电力系统继电保护典型故障分析 / 国家电力调度中心 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
State Electric Power Dispatching Center. Tapical Fault Analysis of the Relay Protection in Power System[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2001.

[2] 王世阁, 钟洪壁. 电力变压器故障分析与技术改进[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
WANG Shi-ge, ZHONG Hong-bi. Fault Analysis and Tecnological Improvement of Power Transformer[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.

收稿日期: 2009-01-12; 修回日期: 2009-03-04

作者简介:

吴宏斌(1976-), 男, 本科, 工程师, 从事继电保护技术监督、检修维护和整定计算工作; E-mail: jhepw@163.com

何云良(1964-), 男, 硕士、高级工程师, 从事电力系统管理和电网分析工作。

有较强适应性和通用性，对各类机组 PSS 的参数整定起到了很好的借鉴作用。

参考文献

[1] 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.

[2] 竺士章. 发电机励磁系统试验 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

[3] DL/T650—1998, 大型汽轮发电机自并励静止励磁系统技术条件[S].

[4] 陈新琪, 郑翔, 徐波. 嘉兴电厂600MW机组励磁系统模型参数校核和PSS整定试验分析 [J]. 中国电力, 2007, 40(8):15-19.
CHEN Xin-qi, ZHENG Xiang, XU Bo. Parameter Verifying of Mathematical Model for 600 MW Generator Excitation System in Jiaying Power Plant and Parameter Setting and Analysis of Its PSS[J]. Electric Power, 2007, 40(8):15-19.

收稿日期: 2009-01-15; 修回日期: 2009-03-02

作者简介:

杨立环(1977-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为发电机励磁系统研究和试验. E-mail: yanglh@nari-relays.com