

# UNITROL5000励磁调节器PSS参数的优化

徐涛<sup>1</sup>, 张振程<sup>2</sup>, 李梅<sup>1</sup>, 任全在<sup>3</sup>

(1. 内蒙古工业大学电力学院, 内蒙古 呼和浩特金川开发区 010080; 2. 鄂尔多斯康巴什供电局, 内蒙古 鄂尔多斯 017000;  
3. 中国神华胜利发电厂, 内蒙古 锡林浩特 026015)

**摘要:** 结合 PSS 抑制电力系统低频振荡的基本原理及 PSS 参数整定原则, 介绍了瑞士 ABB 公司 UNITROL5000 励磁调节器 PSS 的基本构成和电路数字模型。分别采用 ABB 厂家提供的 PSS 参数和现场试验所得的 PSS 整定参数对内蒙古岱海发电厂 1 号机励磁调节器的 PSS 进行验证试验。经过在线有补偿相频特性、负载阶跃干扰试验结果的比较, 表明采用现场整定的 PSS 参数抑制低频振荡效果优于厂家提供的 PSS 参数, 机组长期运行的 PSS 参数应按现场整定的值设置。

**关键词:** PSS 参数; 低频振荡; 相频特性; 阶跃响应

## Optimization for UNITROL5000 excitation adjuster PSS parameters

XU Tao<sup>1</sup>, ZHANG Zhen-cheng<sup>2</sup>, LI Mei<sup>1</sup>, REN Quan-zai<sup>3</sup>

(1. College of Electric Power, Inner Mongolia University of Technology, Hohhot 010080, China; 2. Eerduosi Kangbasha Power Supply Company, Eerduosi 017000, China; 3. Shenhua Shengli Power Plant, Xilinhaote 020615, China)

**Abstract:** Combination of fundamental principles that PSS prevents oscillation from low frequency and setting principles for PSS parameters, basic construction and circuit digital model of UNITROL5000 excitation adjuster which is made in Switzerland is introduced. PSS of Unit 1 in Inner Mongolia Daihai power plant is tested with the parameters supplied by ABB Company and the parameters supplied by field-test respectively. It is showed that the field-test parameters are better than the parameters supplied from ABB Company with the online compensating phase-frequency characteristic and a step interference test. Parameter setting of PSS in unit generator running must be set according to the field-test setting.

**Key words:** PSS parameter; low frequency oscillation; phase-frequency characteristic; step response

中图分类号: TM712 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2009)23-0088-04

## 0 引言

随着集成电路和晶闸管直接励磁的快速励磁系统在现代大型发电机组中的采用, 自动励磁调节器 AVR 的时间常数不断缩短、增益进一步提高, 使得电力系统的阻尼特性恶化<sup>[1]</sup>。电气联系较弱的电网甚至出现负阻尼, 导致系统在低频 0.1~2 Hz 发生振荡, 严重威胁系统的稳定性<sup>[2]</sup>。

抑制低频振荡的手段一是减小负阻尼, 二是增加正阻尼。减小负阻尼的措施有采用动态增益衰减减小负阻尼、检出低频振荡电压并加以抑制、复根补偿等。增加正阻尼的措施有采用 PSS、最优励磁控制、静止补偿器、直流输电控制等<sup>[3]</sup>。诸多措施中, 投入发电机励磁调节器中的电力系统稳定器 PSS 是最直接、经济的方法。其电路简单, 效果好, 在国内外都得到了广泛的应用。

为保证电力系统稳定器 PSS 充分发挥作用, 选

择理想的 PSS 整定参数十分必要。内蒙古岱海发电有限责任公司 1 号机为上海汽轮发电机厂生产的 600 MW 汽轮发电机组, 励磁采用瑞士 ABB 公司的自并励励磁系统, 自动调节方式为 PID+PSS。可供选择的 PSS 参数分别由 ABB 厂家提供和内蒙古电力科学研究院现场试验确定。经计算机仿真计算和现场确认试验, 结果表明现场试验确定的 PSS 参数对抑制低频振荡更为有效。

## 1 UNITROL5000励磁调节器PSS原理

### 1.1 电力系统稳定器PSS的基本原理

PSS 的控制方式, 就是在自动励磁调节器 AVR 中, 除以电压偏差  $\Delta U_e$  作为反馈量外, 再引转速偏差  $\Delta \omega$ 、频率偏差  $\Delta f$ 、加速功率偏差  $\Delta P_a$ 、电功率偏差  $\Delta P_e$  中的一个或几个附加信号 (一般为两个) 作为励磁控制的辅助输入, 经一定的相位校正, 产生正值的阻尼力矩, 平息电机或电力系统的低频振

荡, 提高系统的动态稳定。励磁调节器本身是一个滞后单元, 重负荷时 $K_5 < 0$ <sup>[4]</sup>, 电压调节产生负阻尼, 其电磁转矩 $\Delta M_e$ 在 $\Delta\omega$ 轴上投影为负。当PSS以 $\Delta\omega$ 为输入信号, 经相位补偿后的 $\Delta U_p$ 引入AVR, 产生与 $\Delta\omega$ 轴同相位的附加力矩 $\Delta M_p$ 。确定适当的增益, 将使 $\Delta M_p$ 与 $\Delta M_e$ 的合成力矩在 $\Delta\omega$ 轴上的投影为正, 此时AVR提供正阻尼, 系统总阻尼加强<sup>[5]</sup>。PSS作用原理如图1所示。

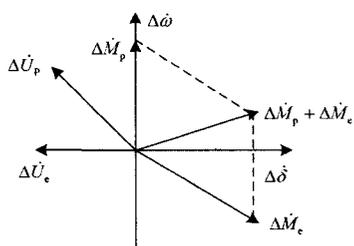


图1 PSS原理

Fig.1 Principle for PSS

## 1.2 UNITROL5000 PSS模型及原理

UNITROL 5000 的数字式励磁调节器的 PSS 采用 IEEE PSS 2A 型标准模型, 其输入为  $\Delta\omega$  和  $P_e$  双输入信号, 由发电机端电压和定子电流采样、软件计算得到。

根据旋转物体的力学定律, 对同步电机的转子可写出如下的关系式

$$M \frac{d\omega}{dt} = T_m - T_e$$

式中:  $M$  为机组转子的转动惯量,  $T_m$  为原动机转矩,  $T_e$  为发电机的电磁转矩。用标么值表示, 在速度变化不大时, 可用功率代替转矩, 则关系式变为

$$M \frac{d\omega}{dt} = P_m - P_e$$

移项后有

$$P_m = \frac{M}{\omega_0} \frac{d\omega}{dt} + P_e$$

写成偏差形式,  $d/dt$  用  $S$  代替, 得

$$\Delta P_m = MS \frac{\Delta\omega}{\omega_0} + \Delta P_e$$

因 $\Delta\omega$ 中含有各种噪音, 上式两端乘 $G(S)$ 滤去,

$$\Delta P_m G(S) = (MS \frac{\Delta\omega}{\omega_0} + \Delta P_e) G(S)$$

加速功率为:

$$\Delta P_a = (M \frac{S\Delta\omega}{\omega_0} + \Delta P_e) G(S) - \Delta P_e$$

用 $\Delta P_a$ 来作为 PSS 的输入, 框图就如图 2 所示, 加速功率为信号的 PSS 是没有“反调”的。

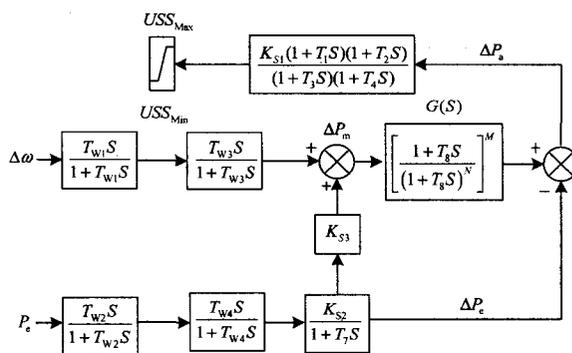


图2 UNITROL5000 PSS数字模型

Fig.2 PSS digital model of UNITROL5000

## 2 岱海电厂 PSS 参数设定值

### 2.1 PSS 参数整定

PSS 参数的整定, 要求兼顾联网后出现的 0.2 Hz 左右的系统振荡频率和 1.3 Hz 左右的地区振荡频率。因此, PSS 参数整定应使 PSS 产生的电磁力矩 (在额定有功功率和无功很小的情况下近似认为基本与 $\Delta V_t$ 同相) 在 0.1~2.0 Hz 频率范围内滞后 $-\Delta P_e$ 信号 $60^\circ \sim 120^\circ$ 。即在 $\Delta\omega$ 轴的 $\pm 30^\circ$ 范围内, 则要求 PSS 的参数整定应使得在 0.1~2.0 Hz 的频率范围内在 $-60^\circ \sim -120^\circ$ 之间<sup>[6]</sup>。

从理论上讲, 在正确的相位补偿下, PSS 的增益越大, 其提供的正阻尼越强, 但实际上, 电力系统是一个高阶的复杂系统, 增加 PSS 的增益虽然可以增加某些机电振荡的阻尼, 但同时也可能引起电磁振荡的负阻尼, 从而使系统出现不稳定现象, 反应在励磁电压和无功功率可能出现明显振荡甚至是等幅或增幅振荡。因此, PSS 存在一个实际的最大增益<sup>[7]</sup>。PSS 临界增益是由很多因素决定的, 如发电机的负荷水平、机组的出力和电力系统的运行方式等, 所以一般用现场试验的方法来确定。

可供内蒙古岱海发电厂 1 号机选用的两套 PSS 参数整定值<sup>[8]</sup>, 分别为:

#### (1) ABB 厂家提供的 PSS 整定参数

$K_{S1}=4.5$ ;  $K_{S2}=0.22$ ;  $K_{S3}=1.00$ ;  $T_1=0.12$  s;  $T_2=0.04$  s;  $T_3=0.28$  s;  $T_4=0.04$  s;  $T_7=2.00$  s;  $T_8=0.00$  s;  $T_9=0.10$  s;  $T_{W1}=2.0$  s;  $T_{W2}=2.0$  s;  $T_{W3}=2.0$  s;  $T_{W4}=0.0$  s;  $N=1$ ;  $M=5$ ;  $P_{MACHmin}=30.0\%$ ;  $U_{MACHmax}=115.0$ ;  $U_{MACHmin}=80.0\%$ ;  $U_{STmax}=10.0\%$ ;  $U_{STmin}=10.0\%$ ;  $T_{10}=0.00$  s;  $T_{11}=0.00$  s

#### (2) 现场确定的 PSS 整定参数

$K_{S1}=2.0$ ;  $K_{S2}=0.56$ ;  $K_{S3}=1.00$ ;  $T_1=0.30$  s;  $T_2=0.05$  s;  $T_3=0.30$  s;  $T_4=0.05$  s;  $T_7=5.00$  s;  $T_8=0.50$  s;  $T_9=0.10$  s;  $T_{W1}=5.0$  s;  $T_{W2}=5.0$  s;  $T_{W3}=5.0$  s;  $T_{W4}=0.0$  s;  $N=1$ ;

$M=5$ ;  $P_{MACHmin}=30.0\%$ ;  $U_{MACHmax}=115.0\%$ ;  
 $U_{MACHmin}=80.0\%$ ;  $U_{STmax}=10.0\%$ ;  $U_{STmin}=-10.0\%$ ;  
 $T_{10}=0.10\text{ s}$ ;  $T_{11}=0.03\text{ s}$ 。

### 2.2 PSS补偿相频特性分析

励磁调节器单柜自动运行, PSS退出, 将频谱分析仪输出的白噪声信号加在AVR的相加点上, AVR通过A/D采集频谱分析仪输出的白噪声信号并迭加在AVR的给定电压上, 逐步增加白噪声信号电平, 将发电机定子电压信号通过FLC-1转换器输入到频谱仪的输入通道2, 用频谱仪测量白噪声信号与发电机电压之间的频率特, 由于低频振荡频率出现在2 Hz以下, 故主要针对该区段无补偿相频特性进行测试。

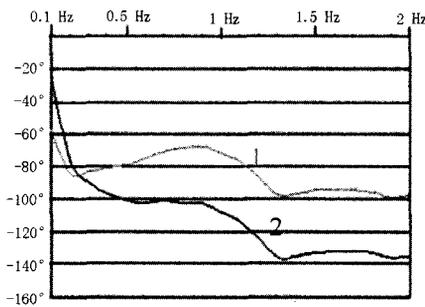


图3 励磁系统有补偿相频特性

Fig.3 Compensating phase-frequency characteristic for excitation system

根据在线无补偿相频特性测试结果和PSS各环节的参数, 可计算出励磁系统的在线有补偿相频特性。用  $\phi_e$  表示励磁系统的相位 (在线无补偿相频特性)、 $\phi_{PSS}$  表示PSS的相位, 以  $\phi_e + \phi_{PSS}$  表示在线有补偿相频特性。图3中, 相频特性1是根据现场测试确定PSS参数后, 经计算机仿真计算得出的励磁系统在线有补偿的相频特性; 相频特性2是根据ABB厂家提供的PSS参数经计算机仿真计算后得出的励磁系统在线有补偿相频特性。

由图3知, 相频特性2在0.1~2 Hz的频率范围内, 由PSS产生的电磁力矩滞后 $25^\circ \sim 135^\circ$ 之间, 即PSS在0.1~2 Hz的频率范围内可以提供正的阻尼力矩, 但与标准要求滞后 $60^\circ \sim 120^\circ$ 差异较大, 在0.1~0.2 Hz频段相位滞后不足, 在0.5~2.0 Hz频段相位滞后偏离过大, PSS提供正阻尼较弱。相频特性1在0.1~2 Hz的频率范围内, 由PSS产生的电磁力矩滞后在 $58^\circ \sim 99^\circ$ 之间, 即PSS在0.1~2 Hz的频率范围内完全符合标准要求提供强阻尼, 从而在线补偿相频特性效果非常理想。

### 2.3 负载阶跃试验分析

发电机并网运行, 操作励磁调节器主控软件, 将PSS切除, 进行不大于4%阶跃试验, 同时录波, 记录有功功率的摆动幅值和次数。将PSS投入, 同样工况下重复以上试验, 录波记录有功功率的摆动幅值和次数。其中的P图录波, 见图4~7。图中有功功率P为以额定值600 MW为基准的标么值。

PSS未投入时, 进行+1%阶跃试验, 试验波形见图4, 通过录波图可以看出, 发电机有功功率的前稳态值为387.6 MW, 有功功率的振荡次数为3次, 振荡频率1.16 Hz, 有功功率的阻尼比为0.152。岱海电厂1号机组在PSS未投入时, 对电网系统的阻尼已经大于0.1, 属于较强的阻尼。

采用ABB提供的PSS参数, PSS投入后进行+1%阶跃试验, 试验波形P图见图5。通过录波图可以看出, 发电机有功功率的前稳态值为399.6 MW, 有功功率的振荡次数为2次, 振荡频率为1.25 Hz, 有功功率的阻尼比为0.199。机组对系统的阻尼有较大的改善, 阻尼比由0.152提高到0.199。

PSS未投入时, 进行+2%阶跃试验, 试验波形P图见图6。通过录波图可以看出, 发电机有功功率的前稳态值为398.4 MW, 有功功率的振荡次数为4次, 振荡频率为1.28 Hz, 有功功率的阻尼比为0.158。采用现场整定的PSS参数, 在PSS投入后, 进行+2%阶跃试验, 试验波形P图见图7。通过录波图可以看出, 发电机有功功率的前稳态值为398.4 MW, 有功功率的振荡次数为2次, 振荡频率为1.28 Hz, 有功功率的阻尼比为0.239。机组对系统的阻尼有很大的改善, 阻尼比由0.158提高到0.239。

负载阶跃试验表明, 采用现场整定的PSS参数, 在有功振荡相当的情况下, 有功功率阻尼比进一步加大。

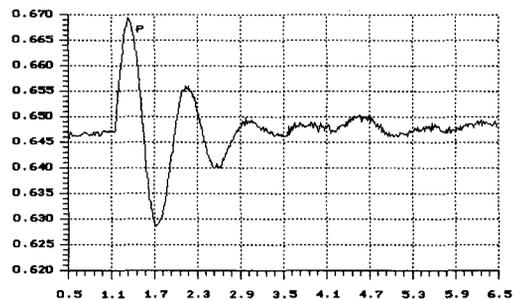


图4 PSS退出+1%阶跃试验P图

Fig.4 1% step test P graph for removing PSS

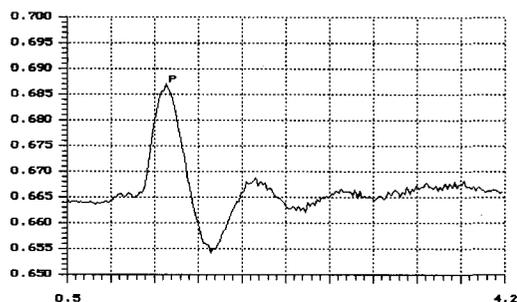


图5 ABB PSS 参数+1%阶跃试验 P 图

Fig.5 1% step test P graph by using ABB PSS parameter

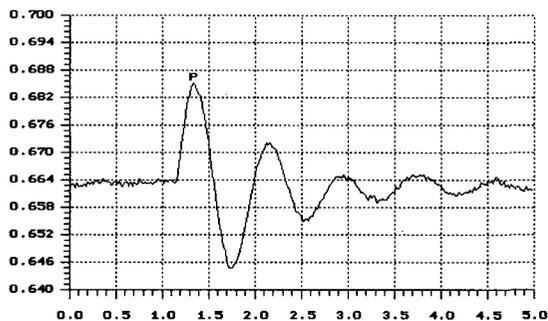


图6 PSS 退出+2%阶跃试验 P 图

Fig.6 2% step test P graph for removing PSS

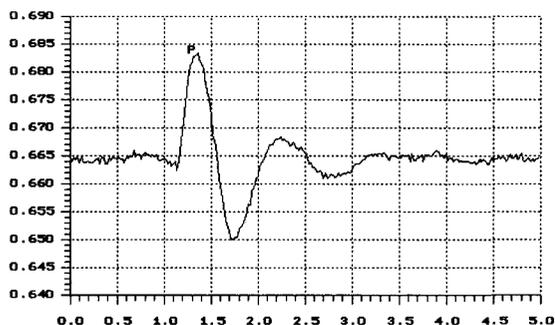


图7 采用现场整定 PSS 参数+2%阶跃试验 P 图

Fig.7 1% step test P graph by using field-test PSS parameter

### 3 结论

ABB 厂家提供的 PSS 参数虽然对系统的阻尼有较大的改善。但仿真计算的结果显示 PSS 的在线有补偿相频特性不能完全满足要求,不能在 0.1~2 Hz 范围内完全抑制系统有功功率的振荡。而采用现场整定的 PSS 参数对于系统的低频振荡在 0.1~2 Hz

全范围内,均有较好的抑制作用且有功功率阻尼比更大。因此长期投入运行应采用现场试验确定的 PSS 参数。

### 参考文献

- [1] 朱振青. 励磁控制与电力系统稳定[M]. 北京: 中国电力出版社, 1994.  
ZHU Zhen-qing. Excitation Control and Electric Power Stability[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1994.
- [2] 王铁强, 贺仁睦, 等. 电力系统低频振荡机理的研究[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(2): 21-25.  
WANG Tie-qiang, HE Ren-mu, et al. The Mechanism Study of Low Frequency Oscillation in Power System[J]. Proceedings of CSEE, 2002, 22(2): 21-25.
- [3] 方思立, 朱方. 电力系统稳定器的原理及其应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 1996.  
FANG Si-li, ZHU Fang. Principle and Application for Power System Stabilizer[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1994.
- [4] 商国才. 电力系统自动化[M]. 天津: 天津大学出版社, 1999.  
SHANG Guo-cai. Automation for Electric Power System[M]. Tianjin: Tianjin University Press, 1999.
- [5] 徐东杰, 贺仁睦. 正规形方法在互联电网低频振荡分析中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(3): 18-23.  
XU Dong-jie, HE Ren-mu. Analysis of Low Frequency Oscillations Using Normal Form Method[J]. Proceedings of CSEE, 2004, 24(3): 18-23.
- [6] DL/T650—1998, 大型汽轮发电机自并励静止励磁系统技术条件[S].  
DT/T650-1998, Technical Condition on Self-shunt Excitation Generator of Large Steam Turbine[S].
- [7] 沈昆仑. 电力系统稳定器 PSS 的参数选择和试验[J]. 电力系统自动化, 1998, 22(2): 55-57.  
SHEN Kun-lun. Parameter Selection and Test for Power System Stabilizer[J]. Automation of Electric Power Systems, 1998, 22(2): 55-57.
- [8] 内蒙古电力科学研究院调试报告[R].  
Test Report of Inner Mongolia Electric Power Science Research[R].

收稿日期: 2008-11-18; 修回日期: 2008-12-26

作者简介:

徐涛 (1968-), 男, 硕士, 副教授, 主要研究方向为电力系统稳定与控制; E-mail: xutao\_569@163.com

张振程 (1966-), 男, 工程师, 主要从事电力系统自动控制的专业工作与研究;

李梅 (1963-), 女, 副教授, 研究方向为电力系统控制与自动装置。