

## PSS2A 低频段振荡抑制效果验证方法

余振<sup>1</sup>, 郭春平<sup>2</sup>, 安宁<sup>3</sup>

(国电南瑞科技股份有限公司, 江苏南京, 210061)

**摘要:**随着区域电网逐渐互联,系统发生在1 Hz以下的低频振荡所占比例越来越高,并且发生了发电机励磁系统投入电力系统稳定器(PSS)后在一些运行方式下产生负阻尼的现象。针对目前常见PSS试验方法不能对低频段振荡的抑制效果进行验证,提出了在机端电压上叠加正弦扰动信号的试验方法。现场试验验证表明,该试验方法合理有效。

**关键词:**电力系统稳定器;低频振荡;励磁系统

**中图分类号:**TM712

**文献标志码:**B

**文章编号:**1009-0665(2012)01-0031-03

随着全国各省、各地区电网的快速发展以及电网之间的联网输电,电力系统低频振荡的现象时有发生,特别是西电东输工程以及三峡机组的建成发电,低频振荡的频率有向0.15 Hz或更低发展的趋势。因此,要求电网中有更多的中、大型机组投入电力系统稳定器(PSS)<sup>[1]</sup>。2010年大唐某电厂曾经发生了0.8 Hz的低频振荡,事后检查发现,当时电网侧和电厂侧正常,没有故障情况发生,后来在该低频值下对该机组采用负载阶跃试验进行再次验证,PSS2A所提供的阻尼是正确的。针对该事故现象,有必要对PSS2A在系统1 Hz以下的低频振荡抑制验证方法进行讨论分析。

## 1 PSS2A 原理

为了防止在发电机原动机出力变化速率较快时,PSS输出过大而导致发电机无功变化超出允许的范围,目前PSS通常采用加速功率型PSS2A模型,如图1所示。

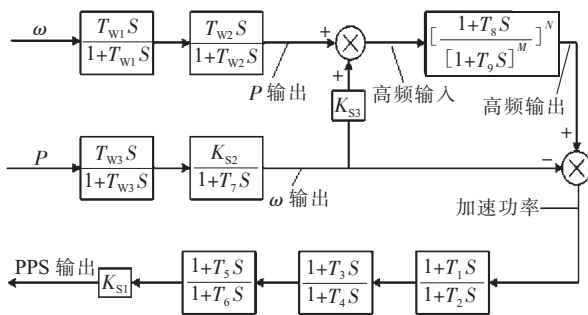


图1 PSS2A 模型

图中, $\omega$ 为发电机轴的旋转角速度; $P$ 为发电机的电磁功率;高频输入为机械功率; $T_{w1} \sim T_{w4}$ 为隔直时间常数; $K_{s1}$ 为PSS放大系数; $K_{s2}, K_{s3}$ 为电功率通道系数; $T_1 \sim T_6$ 为超前及滞后时间常数; $T_7$ 为惯性时间常数; $T_8, T_9$ 为高阶滤波器的时间常数; $M, N$ 为高阶滤波器的阶数。

根据发电机转子运动方程:

$$2H \frac{d\Delta\omega}{dt} = \Delta P_M - \Delta P_E = \Delta P_a \quad (1)$$

式中: $H$ 为发电机转动惯量; $P_M$ 为机械功率; $P_E$ 为电气功率; $P_a$ 为加速功率; $\omega$ 为发电机轴的旋转角速度。写成频域的形式:

$$2HS\Delta\omega = \Delta P_M - \Delta P_E \quad (2)$$

$$\Delta\omega + \frac{\Delta P_E}{2HS} = \frac{\Delta P_M}{2HS} \quad (3)$$

角速度信号和电磁功率信号的积分组合形成机械功率积分信号。该信号与电磁功率积分信号的差即为加速功率积分信号。

$$\frac{\Delta P_M}{2HS} - \frac{\Delta P_E}{2HS} = \frac{\Delta P_a}{2HS} \quad (4)$$

以加速功率积分信号作为输入的PSS理论上没有反调现象。当进行机械功率调节时,电磁功率跟随机械功率变化,因此加速功率积分信号很小,PSS基本不动作;当系统扰动引起电磁功率变化时,机械功率变化较小,加速功率积分信号基本上等于负的电磁功率积分信号,PSS发挥作用抑制功率振荡<sup>[2,3]</sup>。

## 2 高阶滤波环节对振荡的影响

图1模型中有2个输入量,分别是电磁功率 $P$ 和转速 $\omega$ ,其中 $P$ 可以通过机端电压和机端电流直接计算出来,一般都很准确;而 $\omega$ 的直接测量较为困难,需要通过软件进行计算,计算过程中通常要用到交轴电抗,而交轴电抗事实上为一个变值,很难获得,因此 $\omega$ 输入可能在部分频段计算不太准确,则经过两阶隔直环节( $T_{w1}, T_{w2}$ )后,再与 $P$ 通道输出相加后得出的机械功率积分信号就可能不准确。

图1中的 $T_8, T_9$ 构成的高阶滤波环节,其目的是滤除 $\omega$ 通道产生的噪声,其理想特性应该是在低频段增益为1,相角为0,而在高频段增益为0,但实际中不可能,只能取得近似的效果,给PSS2A在过渡区带来了一些负面影响,所以 $T_8, T_9$ 参数的设计影响

PSS 在过渡区频带内的作用效果。 $T_8=0.2\text{ s}$ ,  $T_9=0.1\text{ s}$ ,  $M=5$ ,  $N=1$  对抑制轴系扭振有好处;  $T_8=0.6\text{ s}$ ,  $T_9=0.12\text{ s}$ ,  $M=5$ ,  $N=1$  对减少反调有好处。仿真后该环节的相频幅频特性如图 2 和图 3 所示。

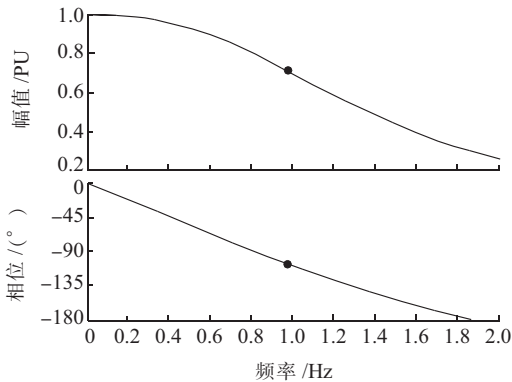


图 2  $T_8=0.2\text{ s}$ ,  $T_9=0.1\text{ s}$  高阶滤波环节伯德图

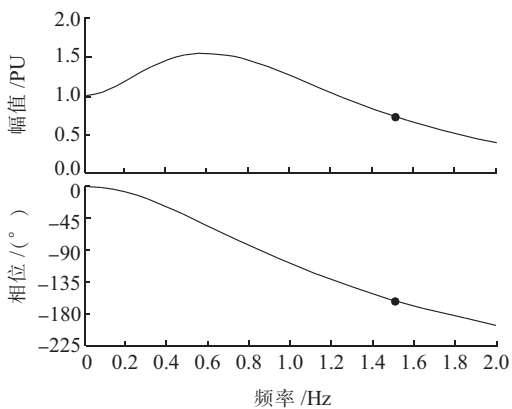


图 3  $T_8=0.6\text{ s}$ ,  $T_9=0.12\text{ s}$  高阶滤波环节伯德图

图 2 中  $T_8=0.2\text{ s}$ ,  $T_9=0.1\text{ s}$  时截止频率为 0.987 Hz, 图 3 中  $T_8=0.6\text{ s}$ ,  $T_9=0.12\text{ s}$  时截止频率为 1.53 Hz, 因此对于较高频率的波动通过该环节后被大幅度衰减, 这样对  $P$  通道输出和  $\omega$  通道输出的相加, 在高频段就有可能被滤掉, 使高阶滤波环节的输出值很小, 此时 PSS2A 模型就近似于 PSS1A 模型。因此在 PSS 的超前滞后环节 ( $T_1 \sim T_6$ ) 补偿准确的前提下, 对于 1 Hz 以下的振荡,  $P$  通道和  $\omega$  通道二者的相加会有较大的输出, 如果机械功率积分信号的计算不准确, 会导致加速功率的计算不正确, 那么 PSS2A 的抑制效果低频段与高频段相比较会较差, 可能达不到 PSS 试验导则所要求的阻尼比。而对于 1 Hz 以上的振荡, 即使机械功率积分信号的计算不准确, 由于高频滤波的作用, 会使加速功率的计算较为准确, PSS2A 抑制系统振荡效果应该不错。

### 3 PSS2A 低频抑制效果验证方法分析

根据《电力系统稳定器整定试验导则》<sup>[4]</sup>, PSS2A 的效果检验有 3 种方法: 负载阶跃响应效应、无故障切除系统扰动效应和改变发电机组转动

惯量计算低频段 PSS2A 作用效应。因为后 2 种校验方法现场操作不便, 所以现场一般都采用负载阶跃响应试验来验证 PSS2A 抑制效果。但是, 采用负载阶跃试验引起的发电机振荡频率一般较高, 通常在 1 Hz 以上, 此外发电机的振荡频率值不易确定, 所以对于 1 Hz 以下的低频段采用该法一般不容易验证。为了验证 PSS2A 抑制 1 Hz 以下的低频振荡效果, 可以采用在机端电压或电压给定值上叠加一正弦扰动信号来验证, 根据 PSS2A 要抑制的振荡频率值, 可以调节叠加的正弦扰动信号的频率来实现, 通过这种方法可以很方便地验证出 PSS2A 在系统 1 Hz 以下任意具体低频值的抑制效果。

为了验证以上所提方法的可行性, 在国电南瑞科技股份有限公司所研制的励磁调节器上进行试验, 采用在电压给定值上叠加正弦扰动信号, 抑制频率分别是在 1 Hz 和 0.7 Hz, 其录波波形如图 4 和图 5 所示。

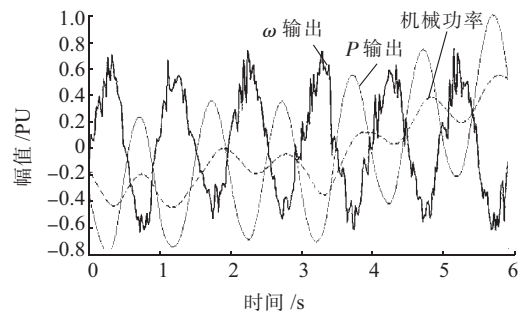


图 4 1.0 Hz 扰动录波曲线

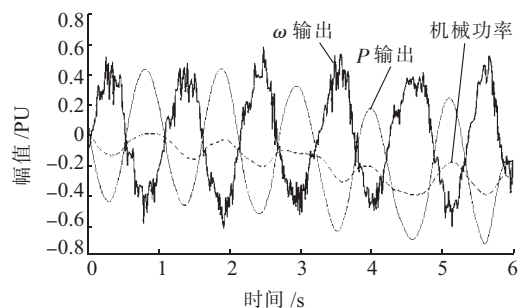


图 5 0.7 Hz 扰动录波曲线

从图 4 和图 5 看出,  $P$  通道输出与  $\omega$  通道输出大小基本相等, 相位对应相反, 两者相加后基本抵消, 即合成后机械功率较小, 高频滤波输出(机械功率)应远小于  $P$  输出(电磁功率), 则高频滤波输出减去  $P$  输出的差值(加速功率)的计算也较为准确。试验结束后, 比较有 PSS 和无 PSS 的振荡峰峰值之比, 如图 6 所示, 投入 PSS 时有功峰峰值明显小于 PSS 退出时的值, 表明 PSS 对于 0.7 Hz 的振荡产生了抑制的效果。

需要注意的是, 由于不同频率下对应的 PID+PSS 幅频特性不同, 因此输入正弦信号时, 不同频率所需的信号大小也不同, 在该机振荡频率附近尤其

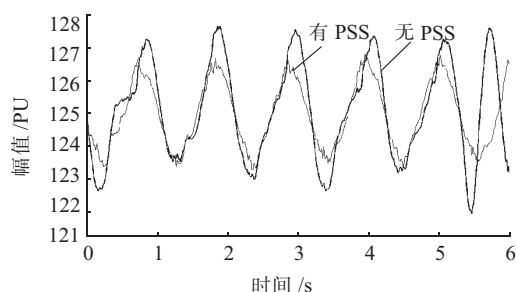


图 6 0.7 Hz PSS 投退录波曲线

需要注意,逐渐增加正弦信号量,使观察到的有功功率曲线基本为正弦波且波动明显大于机组扰动,同时保证无功功率波动在许可的范围内。所加的正弦波最小频率只需到系统振荡模式最低频率即可。

#### 4 结束语

近年来电网低频振荡时有发生,通过目前通常采用的电压阶跃试验方法并不一定能完全验证出 PSS2A 对系统在 1 Hz 以下的低频振荡抑制效果,而

且对这方面讨论的文献也不多见,鉴于此情况,希望对 1 Hz 以下的 PSS2A 抑制效果验证方法能够提供一定的借鉴和思路。

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 许其品,胡先洪,陈小明.双输入电力系统稳定器实现方法探讨[J].水电自动化与大坝监测,2008,32(5):8-11.
- [3] 方思立,苏为民.电力系统稳定器配置、构成、参数计算及投运试验[J].中国电力,2004(10):8-13.
- [4] Q/GDW143—2006,电力系统稳定器整定试验导则[S].

#### 作者简介:

余 振(1983),男,江苏南京人,工程师,从事发电机励磁系统研究工作;

郭春平(1981),男,河南安阳人,工程师,从事发电机励磁系统研究工作;

安 宁(1985),男,河北石家庄人,助理工程师,从事发电机励磁系统研究工作。

## A Method of Verifying the PSS2A Model on Low-frequency Oscillation Damping

YU Zhen, GUO Chun-ping, AN Ning

(NARI Technology Development Co.Ltd., Nanjing 210061,China)

**Abstract:** Along with the interconnection of regional power grid, the percent of low-frequency oscillations below 1Hz is increasing. And sometimes negative damping phenomenon can happen after PSS installed in generator's excitation system under certain operation mode. This paper points out that normal test methods of PSS cannot verify the effect of suppressing low-frequency oscillations, and gives a test method of superposing a sinusoidal perturbation signal on generator's terminal voltage. Results of field tests show that this method is reasonable and effective.

**Key words:** power system dynamic stability; low-frequency oscillation; excitation system

(上接第 30 页)

#### 作者简介:

王德昌(1982),男,河南开封人,硕士,从事串补保护与控制系统开发与串补一次设备集成工作;

周启文(1977),男,湖北鄂州人,工程师,从事串补保护与控制系统开发与串补一次设备集成工作;

方太勋(1973),男,湖北随州人,高级工程师,从事串补保护与控制系统开发与串补一次设备集成工作。

孙 健(1986),男,陕西西安人,硕士,从事串补保护与控制系统开发与串补一次设备集成工作;

章耀辉(1981),男,安徽安庆人,本科,从事超高压线路的维修工作。

## Studies on Real Time Simulation and Protection Algorithm of the MOV Temperature for 500 kV Series Compensation System

WANG De-chang<sup>1</sup>, ZHOU Qi-wen<sup>1</sup>, FANG Tai-xun<sup>1</sup>, SUN Jian<sup>1</sup>, ZHANG Yao-hui<sup>2</sup>

(1.Nanjing Nari-relays Electric Co. Ltd., Nanjing 211102,China;

2.Anhui Electric Power Company Maanshan Power Supply Company, Maanshan 243011,China)

**Abstract:** In the series compensation system, the Metal Oxide Varistor (MOV) temperature's real-time simulation is the basis of its properly working and SC (series compensation) reinserting. According to the simplified thermal model of MOV, the MOV's temperature is simulated in real time by using digital Series Compensation (SC) protection device. And the MOV's temperature characteristic is also measured at the same time. Related parameters can be adjusted to guarantee the simulation temperature dovetail with the actual one and some margin to be left. Results show the MOV real-time simulation can provide reliable support for the MOV temperature protection.

**Key words:** series compensation; MOV temperature protection; real-time simulation; MOV thermal model