

## MEC5220 型数字式励磁调节器性能试验研究

查卫华<sup>1</sup>, 吴国忠<sup>1</sup>, 樊平<sup>2</sup>, 赵莉<sup>2</sup>

(1. 浙江大学电气工程学院, 浙江 杭州 310027; 2. 许继电气电网保护自动化公司, 河南 许昌 461000)

**摘要:** 建立了发电机励磁系统数学模型, 通过对励磁系统模型的仿真研究, 确定了各调节参数对励磁调节性能的影响, 发现了机组产生动态稳定阻尼较弱的根本原因, 优化了 MEC5220 型数字励磁调节器原整定参数, 抑制了本机低频振荡。同时, 电力系统稳定器按照调整后的参数投入运行后, 进行了无功反调试验, 发现无功反调也在可接受的范围之内。

**关键词:** 低频振荡; 动态稳定; 励磁系统; 电力系统稳定器; 建模; 仿真; 反调

## Performance test and study of MEC5220 digital excitation regulator

ZHA Wei-hua<sup>1</sup>, WU Guo-zhong<sup>1</sup>, FAN Ping<sup>2</sup>, ZHAO Li<sup>2</sup>

(1. College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;

2. XJ Electric Power Network Protection Automation Company, Xuchang 461000, China)

**Abstract:** The excitation system model of generator is built in this paper. By analyzing the excitation system model, the effect of all the correlative parameters to the excitation system's performance is confirmed, the ultimate reason of the low dynamic stabilization damp is detected, the former parameters of MEC5220 Digital AER is optimized, the low frequency oscillation is restrained. At the same time, the reactive power regulated in reverse test has been done before the power system stabilizer is put into operation with the parameters regulated. The results show that the reactive power regulated in reverse test is accepted.

**Key words:** low frequency oscillation; dynamic stabilization; excitation system; power system stabilizer; modeling; simulation; regulate in reverse

中图分类号: TM712

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2007)05-0033-04

## 0 概述

MISUBISHI ELECTIC 公司生产的 MEC5220 型数字励磁调节器, 采用 PID+PSS 控制方式, 其电力系统稳定器 (简称 PSS) 的输入信号采用电功率, 具有信号强、不易引入干扰、不会激发轴系扭振的特点。机组并网运行时在电网发生干扰条件下容易产生本机低频振荡 (1.1 Hz 左右), 机组动态稳定阻尼不足的问题威胁了机组的安全稳定运行, 某电厂机组励磁系统为三机无刷高起始响应励磁系统, 而高起始励磁系统容易使机组产生弱阻尼低频振荡<sup>[1]</sup>, 重新研究并评价调节系统参数对机组动态性能的影响, 并对原调节参数和 PSS 参数进行优化。以期在保证机组暂态稳定性能的前提下, 提高机组的动态稳定裕度, 并将电力系统稳定器 PSS 投入运行, 且为整个励磁控制系统提供较宽频带 (0.1~2.5 Hz) 的相位补偿。

## 1 原始数据

## 1.1 发电机参数

型号: QFSN-650-2; 额定容量: 722.22 MVA; 功率因数: 0.9; 额定电压: 20 kV; 额定电流: 20 849 A; 额定频率: 50 Hz; 转速: 3 000 rpm; 额定励磁电压: 460 V; 额定励磁电流: 4 503 A; 空载时间常数:  $T'_{d0} = 8.27$  s; 励磁绕组直流电阻 (75℃): 0.097 41 Ω。

1.2 发电机空载特性<sup>[2]</sup>

由发电机的空载特性曲线, 可以求得发电机饱和特性参数如下:

$$V_{E1} = 1.0, S_{E1} = \frac{1502.23 - 1296.24}{1296.24} = 0.1589$$

$$V_{E2} = 1.0, S_{E2} = \frac{2661.48 - 1553.58}{1553.58} = 0.7131$$

## 1.3 交流励磁机参数

额定容量: 2 760 kVA; 额定电压及电流: 417 V, 3820 A; 额定频率: 200 Hz; 相数: 3; 转速:

3000 r/min; 暂态电抗  $x_d' = 16.1\%$ ; 负序电抗  $x_2 = 29.7\%$ ; 励磁绕组直流电阻(75℃): 0.07 Ω; 时间常数:  $T_{d0}' = 2.14$  s。

### 1.4 副励磁机参数

额定容量: 152 kVA; 额定电压及电流: 274 V, 320 A; 频率: 400 Hz; 转速: 3000 r/min; 相数: 3。

## 2 励磁系统数学模型及参数

### 2.1 数字式励磁调节器及励磁机的模型 (见图 1)

MITSUBISHI ELECTIC 的三机高起始励磁系统模型为:

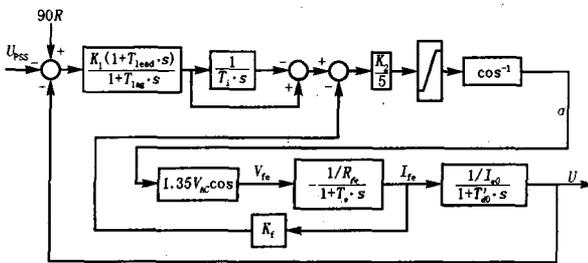


图 1 数字式励磁调节器及励磁机模型

Fig.1 Model of digital AVR and exciter

发电机励磁电流基准值  $I_{FDB}$  为 1 296.24 A, 励磁绕组电阻为 0.097 41 Ω, 励磁电压的基准值  $E_{FDB}$  为 126.27 V; 交流励磁机励磁电流基准值  $I_{FEB}$  为 30.82 A, 励磁电压基准值  $E_{FEB}$  为 2.16 V。励磁调节器的电压测量环节的时间常数为 0.02 s。

### 2.2 PSS 的模型 (见图 2)

MITSUBISHI ELECTIC 提供的 PSS 模型为:

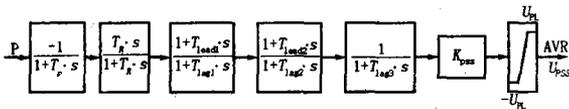


图 2 PSS 模型

Fig.2 Model of PSS

有功功率测量环节时间常数为 0.02 s, 复位时间常数为 1.5 s, 超前及滞后时间常数需经仿真计算和现场试验确定。图 3 中提供的是实际运行的参数。

## 3 励磁系统模型校核

发电机空载电压阶跃试验作为励磁系统模型总体试验项目, 因为该试验在所有励磁调节器上都可以方便地进行; 由于该试验与电力系统无关, 控制对象简单, 因而减少了不确定因素, 提高了校核

的可信度<sup>[3]</sup>。

### 3.1 阶跃响应

#### 3.1.1 发电机阶跃响应仿真(见图 3)

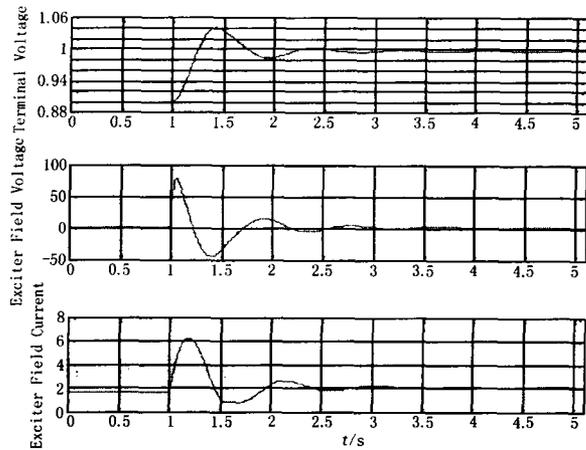


图3 发电机空载+10%阶跃仿真响应曲线

Fig.3 Simulation result of the response of no load generator by giving +10% step

#### 3.1.2 发电机阶跃响应现场试验 (见图 4)

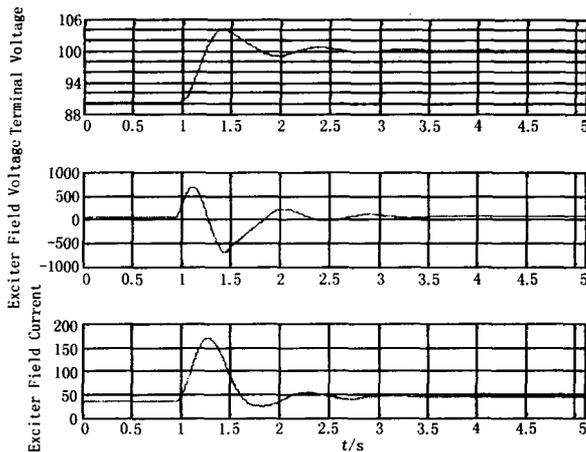


图4 发电机空载+10%阶跃现场试验结果

Fig.4 Real result of the response of no load generator by giving +10% step

### 3.2 校核结果

比较发电机空载+10%阶跃响应的仿真波形和现场试验波形, 可以看出二者是非常接近的, 这验证了励磁系统模型的正确性。励磁机励磁电压和励磁电流波形在仿真波形和实测波形之间的差异是因为现场试验测量回路中采用了滤波器造成的。发电机电压阶跃响应波形说明超调量较大(40%), 励磁系统稳定裕度和阻尼较小, 必须对调节器参数

进行调整。

#### 4 励磁系统参数的调整

对励磁调节参数进行调整以达到在保证机组暂态稳定性能的前提下,提高机组的动态稳定裕度,就必须研究并确定影响励磁控制系统稳定裕度和阻尼的关键参数。对 PSS 参数的调整,就必须研究其对励磁系统相位滞后的补偿而且要保证在尽可能宽的范围。一般来说,同步发电机的低频振荡可分为本机型振荡和区域型振荡,本机型振荡的频率范围为 0.8 ~ 2 Hz 左右,区域型振荡的频率在 0.2 ~ 0.8 Hz。匹配超前、滞后时间常数时应兼顾整个频率范围的相位补偿<sup>[3]</sup>。

通过 ETAP 软件仿真,将励磁系统参数调整如表 1、2 所示。

表 1 影响阻尼特性参数的调整前后值

Tab.1 Original and changed values of the characteristic parameters affecting the damping characteristic

Description	Value (old)	Value (new)
$T_{lag}$ (second)	0.122	0.122
$T_{lead}$ (second)	0.128	0.214
$K_1$	3.095	1.8
$T_i$	5	2

表 2 PSS 参数调整的前后值

Tab.2 Original and the changed values of PSS parameters

Description	Value (old)	Value (new)
$T_R$ (second)	1.5	1.5
$T_{lead1}$ (second)	0.21	0.3
$T_{lag1}$ (second)	2.0	3.0
$T_{lead2}$ (second)	0.212	0.4
$T_{lag2}$ (second)	0.03	0.04
$T_{lag3}$ (second)	0.0	0.0
$K_{PSS}$	1.0	1.0

通过反复的仿真计算发现采用调整后的参数相对原参数而言,小于 90° 的频率带宽明显拓展。(图 5 所示),在真机上进行重载情况下的阶跃试验发现各项性能指标变优,机组动态稳定裕度提高,如图 6 所示。

发电机有功为 350 MW,无功为 2.92 Mvar。

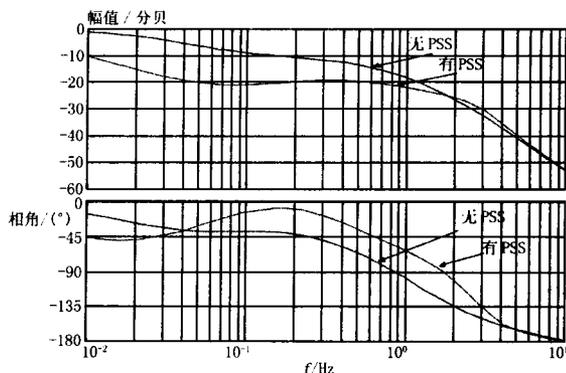


图 5 电机励磁控制相频特性 (采用调整后的参数)  
Fig.5 Excitation control phase-frequency character of generator(after changing parameters)

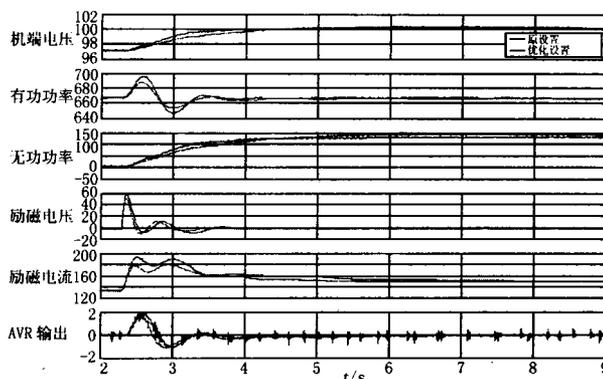


图 6 发电机重载+3%阶跃响应比较 (励磁调节器分别采用原参数和优化参数)

Fig.6 Comparison of heavy load generator by giving +3% step (the original and the changed parameters are both in the curve)

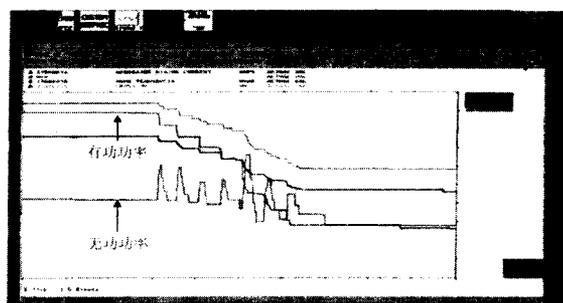


图 7 无功反调的录波图 (PSS 投入)

Fig.7 Record of reactive power reversely regulated

#### 5 反调试验

PSS 将反映电力系统振荡的可测量适当变换后反馈到励磁调节器,使之产生附加的阻尼力矩,达到抑制振荡的目的。但是有功 PSS 在原动机出力变化下,将可能引起励磁电压和无功功率大幅变化的

反调现象。在汽机RUNBACK下, 录取无功功率变化图(如图7所示), 从图中可以看出无功反调峰值在可接受的范围内。

## 6 结论

通过对励磁系统的建模和仿真, 以及对MEC5220型数字式励磁调节器参数的调整和功能研究使发电机组的安全稳定运行得到大大的提高, 达到了在保证机组暂态稳定的前提下, 提高了机组的动态稳定裕度。同时, 电力系统稳定器按照调整后的参数投入运行后, 抑制了本机型低频振荡, 无功反调也在可接受的范围之内。

## 参考文献

- [1] 李基成. 现代同步发电机励磁系统设计及应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000.  
LI Ji-cheng. Design and Application of Excitation System Modern Synchronous Generator[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2000.

(上接第 32 页 continued from page 32)

- LI Bi-jun, XUE Yu-sheng, GU Jin-wen, et al. Status Quo and Prospect of Power System State Estimation[J]. Automation of Electric Power Systems, 1998, 22(11): 53-60.
- [2] 孙元章, 刘前进. FACTS 控制技术综述——模型, 目标与策略[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(6): 1-7.  
SUN Yuan-zhang, LIU Qian-jin. A Summary of FACTS Control Technology——Model, Objective and Strategy[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(6): 1-7.
- [3] Gyugyi L, Schauder C D, Willimas S L, et al. The Unified Power Controller: a New Approach to Power Trans Control[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1995, 10(2): 120-126.
- [4] 陈准金, 白中. 含 UPFC 电力系统潮流计算研究[J]. 电力系统自动化, 1996, 20(3): 23-27.  
CHEN Huai-jin, BAI Zhong. Load Flow Studies for Power Systems Equipped with UPFC[J]. Automation of Electric Power Systems, 1996, 20(3): 23-27.
- [5] Singh H, Alvarado F L, Liu W H. Constrained LAV State Estimation Using Penalty Functions[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1997, 12(2): 383-388.
- [6] 孙国强, 卫志农, 李阳林, 等. 计及统一潮流控制器的

- [2] 发电机投运报告[R]. 核电秦山联营有限公司, 2002.  
Report of Generator's Operation[R]. Nuclear Power Qinshan Joint Venture Copmany Limited. 2002.
- [3] 竺士章. 发电机励磁系统试验[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.  
ZHU Shi-zhang. Test of Generator Extitation System[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2005.
- [4] 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 Its Application of Power System Stabilizer[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1996.

收稿日期: 2006-09-11; 修回日期: 2007-01-10

作者简介:

查卫华(1978-), 男, 硕士研究生, 主要从事电力系统继电保护及励磁控制研究; E-mail: chawh@npqjvc.cn

吴国忠(1944-), 男, 教授, 从事电力电子监测与控制研究;

樊平(1973-), 男, 工程师, 从事继电保护保护与控制工作。

- 电力系统状态估计[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(2): 63-67.
- SUN Guo-qiang, WEI Zhi-nong, LI Yang-lin, et al. Power System State Estimation with UPFC Considered[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(2): 63-67.
- [7] 张小平. 潮流和最优潮流分析中 FACTS 控制器的建模[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(16): 22-29.  
ZHANG Xiao-ping. Modeling of FACTS in Power Flow and Optimal Power Flow Analysis[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(16): 22-29.
- [8] Celik M K, Abur A. Use of Scaling in WLAV Estimation of Power System States[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1992, 7(2): 684-692.
- [9] Clements K A, Davis P W, Frey K D. Treatment of Inequality Constraints in Power System State Estimation[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1995, 10(5): 567-574.

收稿日期: 2006-07-18; 修回日期: 2006-11-13

作者简介:

张海波(1976-), 男, 工程师, 从事输电线路运行研究;  
沈茂亚(1981-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统运行。E-mail: myshen@hhu.edu.cn