

# 水电厂励磁系统数学建模中存在的问题及解决方法

毕 坚<sup>1</sup>, 夏 潮<sup>2</sup>

(1 四川省电力工业调整实验所, 四川 成都 610016; 2 中国电力科学研究院, 北京 100192)

**摘 要:** 准确的模型和参数的精确, 是进一步提高电网安全稳定分析准确度的必要条件。在对电网中运行的部分水电厂励磁系统模型参数辨识中遇到模型或参数不准确的现象。分析了这些问题产生的原因, 提出了几种有效的解决方法, 解决了仿真结果和实测结果不一致的问题。

**关键词:** 励磁; 模型; 问题; 方法

**Abstract:** The accurate model and parameters are a necessary condition to enhance the analysis accuracy of power system security and stability. However, in some small power plants running in power grid, the excitation system model and parameters are inaccurate. The causes of these problems are analyzed and several effective solutions are put forward which is helpful to establish an accurate mathematical model of excitation system.

**Key words:** excitation; model; problem; method

**中图分类号:** TM761 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2010)03-0092-03

励磁系统模型作为电力系统“四大模型”之一, 模型参数的准确性直接关系到系统稳定分析工作的正确性。随着电网规模的不断扩大, 分析使用的模型、参数对计算结果的影响越来越大。模型的完整和参数的精确, 是进一步提高电网安全稳定分析准确度的必要条件<sup>[1-3]</sup>。励磁系统模型参数一般根据调节器、发电机及励磁变压器等厂家提供的资料, 由试验院(所)通过现场试验进行校验或测试获得。厂家提供的资料是否准确, 测试方法是否正确都将影响励磁系统模型和参数的准确性。

四川某水电厂的励磁系统模型按现场采集的数据建立后, 仿真结果和实测结果之间出现了较大的偏差, 分析了偏差产生的可能原因, 提出了对模型参数的修改办法, 修改后, 模型的计算结果和实测结果基本吻合。

## 1 某水电厂 1 号机组励磁系统简介

某水电厂 1 号机组为 21 MW 水轮发电机, 发电机采用自并激励磁方式, 励磁调节器为数字式励磁调节器, 采用并联 PID 控制, 其传递函数如图 1。图 1 中  $K_p$  为 PID 比例环节系数,  $K_i$  为积分环节系数,  $K_d$  为微分环节系数。发电机励磁模型选用中国版 BPA 暂态稳定程序中的 FV 型<sup>[4]</sup>、或 PSASP 程序包中的

12 型, 作为电力系统稳定计算用励磁系统模型<sup>[5-7]</sup>。在图 1 所示的传递函数中,  $K_p = 3$ ,  $K_i = 6$ ,  $K_d = 0$ 。

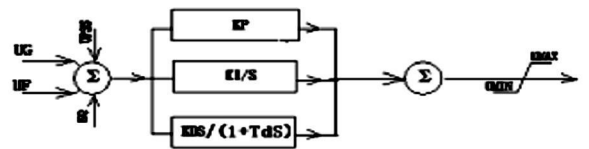


图 1 励磁调节器 PD 传递函数

## 2 励磁系统数学建模中存在的问题

按励磁调节器厂家提供的 PID 参数建立发电机励磁系统数学模型, 在 PSASP 仿真程序中对机端电压做 5% 阶跃仿真试验。发电机空载 5% 机端电压阶跃响应各项指标的仿真结果与现场实测结果见表 1。

由表 1 可见, 上升时间和峰值时间两项重要指标的偏差超出了励磁系统建模导则的允许偏差<sup>[8,9]</sup>。

## 3 仿真计算存在较大偏差的原因分析

### 3.1 PD 放大倍数设置不一致

目前国内电网中运行的励磁调节器, 其 AVR 调节器的主环 PID 参数中的放大倍数, 有的已经将可控硅放大倍数  $K_a$  折算进去了, 有的则没有包括  $K_a$ 。因此进行仿真试验时, 如果已经确认  $K_a$  包含在 PID 的

放大倍数中,模型中通常将  $K_a$  设置为 1。相反,则要对  $K_a$  的值进行实测并设置为实测值。因此,在情况不明确的情况下,当阶跃曲线的仿真与实测结果之间的误差超过相关的行业标准时,通常首先考虑的是对 AVR 放大倍数进行调整<sup>[10]</sup>。

表 1 发电机空载 5% 机端电压阶跃响应仿真结果与实测结果比较

5% 阶跃响应	实测结果	仿真结果	偏差	允许偏差
超调量 /%	4.76	2.9	1.86	±5
上升时间 /s	0.38	0.68	-0.3	±0.1
峰值时间 /s	0.81	1.72	-0.91	±0.1
调整时间 /s	1.55	1.14	0.41	±2
振荡次数 次	0.5	0.5	0	≥1

### 3.2 PD 环节中的参数设置和实测值不吻合

部分调节器厂家的程序设计人员根据产品的特点在 PD 的环节中设置一些系数,这样导致调节器参数库中的参数值与 PD 环节实测的参数值不吻合,这给现场参数的测量带来很大的困难。通常对于这种情况,可以采用频域法对 PID 的各个环节进行现场测量<sup>[11]</sup>,求取环节实际的参数值。由于该电站调节器没有信号叠加点,无法采用频域法进行测量,只能采用拟合的办法估计 PD 的参数。一般来说,利用拟合得出的参数会有很好的仿真效果,但得到的结果往往不是唯一的,一般都可以拟合出多组参数,因此通常只有拟合的参数与厂家提供的参数差别很小且有一定依据的情况下才值得采信。

### 3.3 发电机转子绕组时间常数 $T_{D0}$ 出厂值和实测值不相同

发电机出厂资料中一般都会有转子绕组的时间常数  $T_{D0}$ ,建模试验时一般会对该时间常数进行校验,但有些调节器装置无法做校验性的试验项目,或由于发电机出厂参数测量时的环境与现场环境不同,例如从转子绕组到调节器装置之间的这段电缆是在安装后才有的,从而引起转子绕组的阻抗值与出厂值不一致,另外,转子绕组的电阻值也因为工况的变化而变化,这些因素都会引起转子回路时间常数的变化。

## 4 解决方法

### 4.1 对 PD 放大倍数进行调整

按同步发电机励磁系统建模导则的要求,实测结果和仿真结果的差异较大时可以调整可能产生偏差的数据,如励磁机时间常数、励磁系统总的静态增益、

励磁机励磁绕组电阻值、由纯延时特性推出的等效惯性环节时间常数参数等。这里首先考虑励磁系统总的静态增益不包括可控硅的放大倍数  $K_a$  的情况。通过现场的试验数据,利用式 (1),可计算出  $K_a$ 。

$$K_a = 1.35 \frac{U_{fd}}{U_{FD}} \frac{U_1}{U_N} \quad (1)$$

$$= 1.35 \frac{204}{92.9} \frac{8081}{10500} \approx 2.28$$

式 (1) 中,  $U_{fd}$  为发电机励磁电压;  $U_{FD}$  为发电机励磁电压的基准值;  $U_1$  为发电机端电压;  $U_N$  为发电机端电压额定值。

将仿真程序中  $K_a$  的值由 1 改为 2.28,仿真结果见表 2。

表 2 发电机空载 5% 阶跃响应试验仿真结果与实测结果比较

5% 阶跃响应	实测结果	仿真结果	偏差	允许偏差
超调量 /%	4.76	3.72	1.04	±5
上升时间 /s	0.38	0.52	-0.14	±0.1
峰值时间 /s	0.81	1.02	-0.21	±0.1
调整时间 /s	1.55	1.94	-0.39	±2
振荡次数 次	0.5	0.5	0	≥1

由表 2 可见,仿真结果中的上升时间  $T_{up}$  与峰值时间  $T_p$  与实测结果的偏差分别为 0.14 s、0.21 s 依然没有满足行标要求的 0.1 s 说明调节器厂家提供的 PID 参数不完整。

### 4.2 对 PD 环节中的参数进行拟合

在该水电厂数学模型中,缺少的资料可采用 PSASP 经典参数。对可控硅放大倍数和发电机转子时间常数进行了实测,并对实测数据进行了仿真,仿真结果都不理想,可采用拟合的方法对 PID 参数进行调整,调整后的数据如下:  $K_p=6, K_i=6, K_d=0$ 。

根据拟合的参数进行仿真计算,结果见表 3,阶跃曲线的仿真结果和实测结果如图 2 所示。

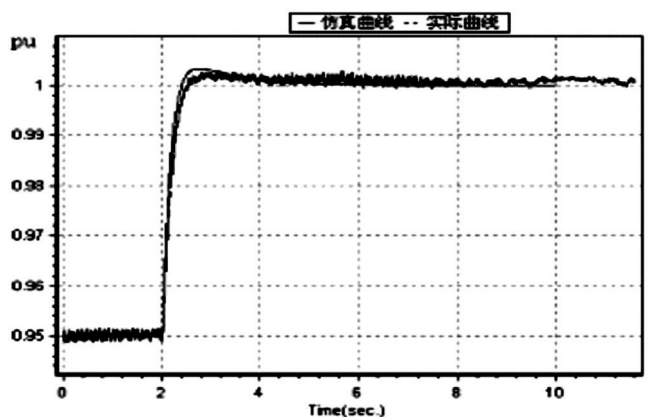


图 2 发电机空载 5% 阶跃响应曲线及仿真曲线

表 3 根据拟合的 PD 参数仿真结果与实测结果比较

5%阶跃响应	实测结果	仿真结果	偏差	允许偏差
超调量 /%	4.76	4.95	-0.19	±5
上升时间 /s	0.38	0.32	0.06	±0.1
峰值时间 /s	0.81	0.76	0.05	±0.1
调整时间 /s	1.55	2.35	-0.80	±2
振荡次数 /次	0.5	0.5	0	≠1

表 3 中横坐标为时间,单位为秒,纵坐标为机端电压的标幺值。由表 3 可见,仿真结果和实测结果之间的偏差在允许偏差范围内。由图 1 可见,仿真曲线与实测曲线基本吻合。

## 5 结 论

实测结果和仿真结果的差异较大时可以调整实际可能产生偏差的数据,如励磁机时间常数、励磁系统总的静态增益、励磁机励磁绕组电阻值、由纯延时特性推出的等效惯性环节时间常数参数等。通过对这些参数的调整后,如果仿真结果与实测结果偏差满足行业标准的要求,可以认为模型参数基本准确,可以作为系统仿真计算使用。

### 参考文献

[1] 贾善杰,苏刚,郑吉成,等.励磁系统建模方法及应注意的问题[J].山东电力高等专科学校学报,2006,9(5):51-54

(上接第 80 页)

[9] 关天祺,梅生伟,卢强,等.超导储能装置的非线性鲁棒控制器设计[J].电力系统自动化,2001,25(17):1-6

[10] 姚涛,唐跃进,石晶,等.针对系统暂态稳定性的超导磁储能装置容量研究[J].低温物理学报,2005,27(5):1096-1100

[11] Kinjo T, Senjyu T, Urasaki N, et al. Terminal-voltage and Output-power Regulation of Wind-turbine Generator by Series and Parallel Compensation Using SMES[J]. Proceedings of the IEE, Generation Transmission and Distribution, 2006, 153(3): 276-282

[12] 余运佳,惠东.中大型超导储能装置的研制与应用[J].中国电力,1997,30(3):57-59

[13] 郭文勇,赵彩宏,张志丰,等.电压型超导储能系统的统一直接功率控制方法[J].电网技术,2007,31(9):58-63

[14] 李艳,程时杰,潘垣.超导磁储能系统的自适应单神经元控制[J].电网技术,2005,29(20):57-61

[15] 樊冬梅,雷金勇,甘德强.超导储能装置在提高电力系统暂态稳定性中的应用[J].电网技术,2008,32(18):37-42

[16] 林姿峰,闵勇.基于超导储能的电力系统静态安全性在线评估[J].电力系统自动化,2003,27(8):40-44,48

[17] 西安交通大学.电力系统计算[M].北京:水利电力出版社,1998

[2] 窦赛,刘南平.励磁控制系统的实时仿真研究[J].广西电力,2005,28(1):5-8,26

[3] 彭波,赵勇,苏寅生,等.南方电网励磁系统实测与建模技术及其应用[J].南方电网技术,2008,2(5):51-54

[4] 黄梅,郝满江.励磁系统模型可辨识性研究[J].北京交通大学学报,2006,30(2):101-103

[5] 肖洋.四川宝兴东风水电站 2 号机励磁系统模型参数测试报告[R].中国电力科学研究院,2009

[6] 贺文.大坝电厂 4 号机励磁系统数学模型参数测试[J].宁夏电力,2005(5):22-26

[7] 袁训奎,刘世富,赵义术.山东电网励磁系统模型参数确认试验的分析[J].电力建设,2008,29(7):32-34

[8] 夏潮.四川宝兴东风水电站 1 号机励磁系统模型参数测试报告[R].中国电力科学研究院,2008

[9] 国家电网公司.Q/GDW 142-2006 国家电网公司企业标准[S].北京:中国电力出版社,2006

[10] 吴涛,苏为民,刘永奇,等.华北电网开展发电机励磁系统参数辨识工作综述[J].华北电力技术,2003(9):24-26

[11] 贺仁睦,沈峰,韩冬,等.发电机励磁系统建模与参数辨识综述[J].电网技术,2007,31(14):63-67

### 作者简介:

毕 坚(1966—),男,工程师,研究方向为水电厂机网协调。

夏 潮(1974—),男,工程师,研究方向为励磁控制系统研究与电力系统稳定分析。(收稿日期:2009-12-03)

出版社,1998

[18] 赵静波,甘德强,雷金勇.电池储能装置在抑制电力系统低频振荡中的应用[J].电网技术,2008,32(6):93-99

[19] 王少荣,彭晓涛,唐跃进,等.电力系统稳定控制用高温超导磁储能装置及实验研究[J].中国电机工程学报,2007,27(22):44-50

[20] 文劲宇,程时杰,李刚,等.一种增强电力系统稳定性的多功能柔性功率调节器[J].中国电机工程学报,2005,25(25):6-11

[21] Mathur R M, Vama R. Thyristor-based FACTS Controllers for Electrical Transmission Systems [M]. New York: IEEE Press, 2002. Systems, 2003, 25(5): 387-394

[22] Wang H F. Interactions and Multivariable Design of Multiple Control Functions of a Unified Power flow Controller [J]. International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2002, 24(7): 591-600

### 作者简介:

李 勇(1983—),男,硕士研究生,主要从事电力系统稳定与控制的研究。

刘俊勇(1963—),男,教授,博士生导师,主要从事电力市场、电力系统可视化及电力系统稳定与控制等方面的研究。

(收稿日期:2010-01-26)