

# 大型发电机电压调差率计算及试验方法

周国平, 单华, 喻建, 张强

(江苏方天电力技术有限公司, 江苏南京 211102)

**摘要:** 并联运行的发电机组需要无功功率稳定合理的分配, 仅靠发电机组的自然调差是不能满足要求的。配置合适的电压调差率不仅是机组经济运行的要求, 也是电网稳定的必要措施。文中阐述了励磁系统中发电机电压调差的作用, 调差特性的工作原理, 介绍了发电机电压调差率的计算和几种试验方法, 重点介绍了其中一种试验方法: 无功间接调整法。

**关键词:** 无功功率; 调差率; 无功间接调整法

**中图分类号:** TM712

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-0665(2015)04-0048-03

励磁调节器是励磁系统的核心控制部分, 它根据发电机及电力系统运行的要求, 自动调节功率单元输出励磁电流, 在发电机出力变化和系统故障等工况下, 维持发电机机端电压稳定。现在较大型电厂都是几台发电机变压器组在同一条母线下并列运行, 改变其中任何一台机组的励磁电流不仅影响该机组的无功电流, 而且还影响其它并联运行机组的无功电流, 从而引起母线电压的变化。为了防止各台机组间无功功率的无序分配, 励磁调节器中引入了附加电压调差的功能, 发电机的附加电压调差功能可以保证机组间无功功率的合理分配, 提高电力系统运行的稳定性。

## 1 发电机电压调差定义

发电机电压调差功能对励磁系统调节发电机无功功率有着重要的作用, 反映了在励磁调节器自动调节下发电机机端电压  $U_g$  随发电机无功输出变化关系<sup>[1]</sup>。发电机电压调差特性用调差率  $K$  来表征, 发电机在功率因数为 0 的情况下, 机端电压、无功功率、电压给定的关系为:

$$U_{\text{ref}} = U_g^* + KQ^* \quad (1)$$

式(1)中:  $U_{\text{ref}}$  为电压给定值, 可在调节器中设定;  $K$  为电压调差率;  $U_g^*$  为实际机端电压标么值;  $Q^*$  为无功功率标么值。

由式(1)可知, 在电压给定  $U_{\text{ref}}$  不变的情况下, 调差率  $K$  有 3 种特性。  $K > 0$  为正调差特性, 发电机机端电压随无功电流增大而降低;  $K < 0$  为负调差特性, 发电机机端电压随无功电流增大而上升;  $K = 0$  为无差特性, 发电机机端电压不随无功电流的变化而改变。

## 2 发电机电压调差的作用

当 2 台及以上的机组并列运行在同一条母线上时, 总的无功功率将由各台机组共同分担。无调差特性时, 发电机组之间的无功功率是任意分配的, 机组会处

于不稳定的运行状态。当有调差特性时, 由于机组是并列运行于同一段母线, 因此各台机组机端电压  $U_g$  大小相同, 在各机组调差率  $K$  相同、电压给定  $U_{\text{ref}}$  接近的情况下, 由式(1)可知, 各台机组之间的无功分配就会非常接近, 不会出现无功功率无序分配的现象。

## 3 调差率的整定原则

对于单元接线的发电机组, 由于主变压器自然调差率(变压器阻抗)较大, 为了提高发电机组对系统的电压(无功)支撑能力, 一般励磁调节器中电压调差率选择为负, 用以补偿变压器的电压降<sup>[2]</sup>, 但补偿压降不能超过变压器实际压降。电压调差率宜按下列方法整定:

(1) 并列点(主变高压侧)的电压调差率  $K_T$  宜按照 5%~10% 整定, 在无功分配稳定的情况下取小值, 同一条母线下的电压调差率应相同<sup>[3]</sup>。

(2) 发电机电压调差率应考虑变压器电抗压降, 变压器电抗压降标么值为:

$$\Delta U_T^* = \frac{P_N^* R_T^* + Q_N^* X_T^*}{U^*} \quad (2)$$

式(2)中:  $P_N^*$  为发电机额定功率标么值;  $R_T^*$  为主变电阻标么值;  $Q_N^*$  为发电机无功功率标么值;  $X_T^*$  为主变电抗标么值;  $U^*$  为发电机额定电压标么值。

发电机电压调差率最终值为:

$$K = K_T - \Delta U_T^* \quad (3)$$

需要特别注意的是, 为补偿主变电抗产生的压降, 虽然要求发电机励磁系统的电压调差特性为负调差, 但当选择负调差时, 调差率必须小于主变的压降, 即发电机无功功率与电网电压的关系曲线必须是下降特性。

## 4 调差率的测定

机组投入运行后, 还需要对调差率进行测定, 以便观察它的设定值与设计值是否一致。根据大型汽轮发电机励磁系统技术条件的相关规定, 有用无功负荷法和推算法<sup>[4]</sup>。

(1) 甩无功负荷法。保持给定值不变,在功率因数为 0 情况下,甩 50%~100% 额定无功功率,测量甩负荷前后发电机机端电压,按如下公式求得电压调差率:

$$K = \frac{U_0 - U_1}{U_N} \frac{I_N}{I_Q} \times 100\% \quad (4)$$

式(4)中: $U_0, U_1$ 为甩负荷前后的机端电压,kV; $I_Q, I_N$ 为甩负荷前无功电流值和额定定子电流值,A; $U_N$ 为发电机额定电压,kV。

(2) 推算法。在功率因数为 0、50%~100% 额定无功功率负荷下测得机端电压  $U_1$  和电压给定值  $U_{ref}$  后,在发电机空负荷试验中相同调节器增益下测量的  $U_{ref}$  对应的机端电压  $U_0$ ,然后按式(4)计算。

上述 2 种试验方法均需要发电机处于零功率因数工况,对于现代大型汽轮机组,机组并网后就必须带一定初始有功功率,要保持零功率因数工况比较困难。对此,可以采用无功间接调整法。

(3) 无功间接调整法。在励磁调节器中实现调差功能的基本原理是:在电压给定值之外附加一个与发电机功率(主要为无功功率)成一定比例关系的值  $\Delta U$ :

$$U_{ref} = U_g^* + \Delta U^* \quad (5)$$

$$\Delta U^* = \sqrt{(U_g^* + KQ^*)^2 + (KP^*)^2} - U_g^* \quad (6)$$

由式(5,6)得:

$$U_{ref} = \sqrt{(U_g^* + KQ^*)^2 + (KP^*)^2} \quad (7)$$

式(7)中: $U_{ref}$ 为电压给定值; $U_g^*$ 为机端实际电压标么值; $Q^*$ 为发电机无功功率标么值; $P^*$ 为发电机有功功率标么值。

无功间接调整法的试验步骤:保持试验机组的电压给定值  $U_{ref}$  和有功功率不变,通过改变相邻机组的无功功率来间接改变试验机组的无功功率,记录试验机组无功功率变化前后的机端电压  $U_{g1}, U_{g2}$  及无功功率  $Q_1, Q_2$ 。

由于无功变化前后电压给定值  $U_{ref}$  及有功功率  $P$  不变,由式(7)可得出:

$$\sqrt{(U_{g1}^* + KQ_1^*)^2 + (KP^*)^2} = \sqrt{(U_{g2}^* + KQ_2^*)^2 + (KP^*)^2} \quad (8)$$

式(8)中: $U_{g1}^*$ 为无功变化前的机端电压标么值; $U_{g2}^*$ 为无功变化后的机端电压标么值; $Q_1^*$ 为无功变化前的无功功率标么值; $Q_2^*$ 为无功变化后的无功功率标么值。

进一步可得出公式:

$$K = \frac{U_{g1}^* - U_{g2}^*}{Q_1^* - Q_2^*} \quad (9)$$

转换成有名值为:

$$K = \frac{U_{g1} - U_{g2}}{U_N} \times \frac{S_N}{Q_2 - Q_1} \quad (10)$$

式(9,10)中: $S_N$ 为发电机额定容量,MV·A; $U_N$ 为发电机

额定电压,kV。

由式(8)可知,只要记录试验机组无功变化前后的机端电压  $U_{g1}, U_{g2}$  及无功功率  $Q_1, Q_2$ ,即可根据该公式计算出电压调差率。由于无功间接调整法不需要机组有功功率为 0,只要试验过程中机组有功功率保持稳定即可,解决了大型机组保持零功率因数工况比较困难的问题,目前大部分试验已开始采用无功间接调整法。

## 5 无功间接调整法测定调差率的注意事项

(1) 试验机组无功功率的改变是通过相邻机组的无功调整实现的,多个电厂、不同容量机组的试验数据表明,相邻机组无功增加一定值时,试验机组无功减少量远低于相邻机组的增加量,一般约为相邻机组的 40% 甚至更少,当相邻机组无功变化幅值较小时,试验机组无功及机端电压变化均不明显,直接影响了发电机电压调差率测定的精度,因此相邻机组的无功调整幅度应尽量大,上升或下降无功幅值视当时机组无功情况而定,原则上要求相邻机组及试验机组输出无功功率上限不超额定无功,下限保证低励限制不动作。对于有多台相邻机组的,可以采用同时调整多台机组无功改变试验机组无功的方法,最大限度的改变试验机组的无功功率。试验发现,当试验机组无功变化幅值在额定无功容量 15% 时,就能完全满足试验的要求,可保证试验结果的准确性。

(2) 试验时,试验机组的电压给定值及有功功率均应保持不变,为防止外部自动装置(如 AVC, AGC 等)在试验时调节机组的电压及有功功率,试验机组的 AVC 及 AGC 均应向调度部门申请临时退出。

(3) 试验过程中,调整机组无功时,应密切监视相关机组的机端电压及厂用电压,防止电压过高或过低影响到机组的安全。

(4) 试验过程中,调节机组无功,应尽量按照单方向调整,即单方向上升或下降,避免由于电网系统运行方式的变化和励磁系统的静差率等因素,影响试验记录数据的准确性。

(5) 如测量的电压调差率与设定值存在一定误差,原因可能是记录机端电压的精确度不够,根据现场测试经验,如果将机端电压记录准确到小数点后 3 位,将使测得的数据更准确,因此现场测量电压用的表计必须使用 0.2 级或更高精度的电压测量仪表。

## 6 结束语

发电机励磁系统的电压调差直接关系到电力系统的电能质量及机组的稳定。大型机组大都是发电机变压器组单元制接线,发电机电压调差率应采用负调差,但调差率不能大于变压器的压降。发电机电压调差率的试

验是新投机组的必须试验,可以采用规程推荐的甩无功法及推算法,但上述2种方法均需要发电机在零有功工况下,对于大型机组很难实现这一工况,无功间接调整法不需要机组有功功率为零,很好地解决了这一问题,建议试验时采用无功间接调整法。无功间接调整法,在几个不同的电厂、不同容量的机组测试中均得到了非常准确的调差率数据,对于分析出现系统波动时,各台机组之间无功分配的合理性,有一定的应用价值。

#### 参考文献:

- [1] 王永利. 发电机励磁系统中调差特性分析[J]. 天津电力技术, 2007(4):32-33.
- [2] 孟凡超,吴龙. 发电机励磁技术问答及事故分析[M]. 北京:中国电力出版社,2008:91.
- [3] DL/T 843—2010,大型汽轮发电机励磁系统技术条件[S].
- [4] DL/T 1166—2012,大型发电机励磁系统现场试验导则[S].

#### 作者简介:

- 周国平(1978),男,江苏常熟人,工程师,从事继电保护及励磁方面的工作;
- 单华(1985),男,江苏宝应人,工程师,从事继电保护及励磁方面的工作;
- 喻建(1987),男,江苏如东人,工程师,从事继电保护工作;
- 张强(1987),男,安徽马鞍山人,工程师,从事继电保护工作。

## Voltage Adjusting Rate Calculation and Testing Method for Large-capacity Generator

ZHOU Guoping, SHAN Hua, YU Jian, ZHANG Qiang

(Jiangsu Frontier Electrical Power Technology Co.Ltd., Nanjing 211102, China)

**Abstract:** The reactive power must be reasonably allocated between the parallel operated generators. The natural adjustment by generators alone cannot meet the requirement. Appropriate reactive power allocation is for economic operation of generators and power systems' stable operation. In this paper, the effect of the reactive power compensation coefficient in excitation voltage regulation system, the principle of the reactive power compensation coefficient, the calculation of reactive power compensation coefficient and several testing methods are introduced. As one of the most important methods, reactive indirect adjustment method is highlighted.

**Key words:** reactive power; reactive power compensation coefficient; reactive indirect adjustment method

(上接第47页)

- [4] 马玺越,陈克安. 110 kV 变压器有源噪声控制实验研究[J]. 声学技术, 2011, 30(5):85-88.
- [5] XUN L. Physical System Design for the Active Control of Electrical Transformer Noise [D]. Ph.D Degree Thesis, The University of Adelaide, 2000.
- [6] QIU X, HANSEN C H. An Algorithm for Active Control of Transformer Noise with On-line Cancellation Path Modelling Based on the Perturbation Method [J]. Journal of Sound and vibration, 2001, 240(4):647-665.
- [7] 吕敬友,黄玉,池爱平. 变电站噪声对环境的影响与防治措施[J]. 电力与能源, 2011, 32(2):162-164.
- [8] 顾晓安,沈荣瀛,徐基泰. 大型电力变压器振动和噪声控制方法研究[J]. 噪声与振动控制, 2001(5):7-11.
- [9] 于春伟. 电气设备噪声主动控制的研究及输出电路设计[D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学, 2008.
- [10] 张翔,李传光. 自适应有源降噪控制算法的研究与实现[J]. 北京理工大学学报, 2002, 22(1):53-55.

#### 作者简介:

- 陈涛涛(1989),男,江苏宿迁人,硕士研究生,从事变电站高压设备电气试验、电气设备状态监测与故障诊断工作;
- 华晓珠(1982),女,福建龙岩人,工程师,从事变电站高压设备电气试验及油务化验工作;
- 陆金(1981),男,江苏宿迁人,助理工程师,从事变电站高压设备电气试验工作。

## Research on Active Noise Reduction Technology for Transformers

CHEN Taotao, HUA Xiaozhu, LU Jin

(Maintenance Branch of Jiangsu Electric Power Company, Suqian 223800, China)

**Abstract:** In recent years, low frequency noise produced by transformers has attracted many attention and became a hot research point in noise source control. In this paper, bubble sort is adopted to automatically identify the frequency components with most energy. Based on the identification and with the application of perturbation technique and merging algorithm, secondary sound source is automatically produced to neutralize the primary sound source made by transformers, in this way the noise from transformers can be eliminated. The noise data of an actual 110 kV substation is measured and analyzed theoretically. Simulation results show that the proposed method is effective and correct.

**Key words:** transformer; noise; adapted identification; waveform synthesis; secondary path; active control