

浅析发电机电磁型同期闭锁继电器闭锁合闸角的整定计算

牛国勇, 郭安利

(1. 大唐林州热电有限责任公司, 河南 林州 456561; 2. 安阳县电业管理公司, 河南 安阳 455000)

摘要: 为防止发电机非同期并列, 在选用性能优良的微机自动准同期装置的同时, 还应采用在发电机主断路器的合闸回路中串接同期闭锁继电器常闭辅助触点的方法。简要分析发电机的同期并列条件, 从减小发电机组同期并列时冲击电流对机组轴系损伤为切入点, 结合电磁型同期闭锁继电器的工作原理和动作特性, 对电磁型同期闭锁继电器的动作方程进行计算求解, 得出电磁型同期闭锁继电器闭锁合闸角的定值整定范围为 $20^\circ \sim 40^\circ$ 。

关键词: 发电机; 非同期; 冲击电流; 同期闭锁继电器; 滑差; 整定计算

Brief analyzing the calculation of lockout closing phase angle of generator electromagnetic synchronization lockout relay

NIU Guo-yong, GUO An-li

(1. Datang Linzhou Cogeneration Power Plant Co., Ltd, Linzhou 456561, China;

2. Anyang County Electric Industry Company, Anyang 455000, China)

Abstract: In order to prevent the asynchronization parallel of generators, the selecting of micro-processor automatic synchronous equipment of high performance should be combined with adopting the method of concatenating synchronization latching relay normally closed auxiliary contact in the closing circuit of generator main breaker. The conditions of synchronization parallel of generators are analyzed briefly. Proceeding from reducing the damage of impact current to unit shaft in the process of synchronization parallel of generators, based on the work principle and action features of the electromagnetic synchronization latching relay, the operation equation of which is calculated and the result shows that the setting value of latching close angle ranges from 20 degrees to 40 degrees.

Key words: generator; asynchronization; surge current; synchronization lockout relay; slip; calculating

中图分类号: TM76 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2010)20-0176-03

1 问题的提出

发电机同期闭锁继电器一般采用电磁型继电器, 继电保护和运行人员对其所起作用的重要性都非常清楚, 但其整定定值如何计算是继电保护定值计算人员所更为关心的问题。本文以某国产 300 MW 汽轮发电机组为例, 对其实际并列运行中所允许的实际偏差范围进行分析, 从而为同期闭锁继电器的定值计算提供整定依据。

2 同期并列分析

发电机并列的理想条件为并列断路器两侧电源电压的三个状态量全部相等, 即

$$f_g = f_s \text{ (频率相等)、} U_g = U_s \text{ (电压幅值相等)、}$$

$$\delta = 0 \text{ (相角差为零)}。$$

这时, 并列合闸的冲击电流等于零, 并且并列

运行的发电机 G 与系统 S 立即并入同步运行, 不发生任何扰动现象。但是, 实际运行中待并发电机组的调节系统很难实现上述理想条件调节, 在现场实际并列合闸时只要冲击电流较小, 不危及电气设备, 且在规定的偏差范围内, 合闸后都能迅速拉入同步。

准同期并列如图 1 所示。某国产 300 MW 汽轮发电机组, 其一次系统参数已归算至以发电机额定容量为基准的标么值:

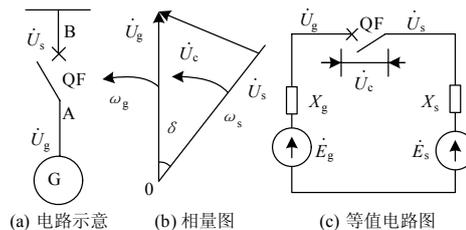


图 1 准同期并列

Fig.1 Parallel quasi-synchronization

直轴超瞬变电抗 $X''_d^* = 0.1618$; 横轴超瞬变电抗 $X''_q^* = 0.1618$; 系统等值电抗 $X_s^* = 0.071$; 断路器合闸时间 $t_{di} = 0.12 \pm 10\%$ s; 微机自动同期装置合闸脉冲输出误差时间 $\Delta t_c = 0.01$ s; 待并发电机允许的冲击电流值为 $i''_{hm}^* = \sqrt{2}i_{gn}^*$ 。

1) 电压幅值差

设发电机并列时的发电机频率 f_g 等于系统频率 f_s 、相角差 δ 等于零。

则冲击电流的有效值为

$$I''_h^* = \frac{U_g^* - U_s^*}{X''_d^* + X_s^*} = \frac{\Delta U^*}{0.1618 + 0.071} = 4.3\Delta U^* \quad (1)$$

式中: U_g^* 为发电机电压标么值; U_s^* 为系统电压标么值; X''_d^* 为发电机直轴超瞬变电抗; X_s^* 为电力系统等值电抗。

冲击电流最大瞬时值为

$$i''_{hm}^* = 1.8\sqrt{2}I''_h^* = 2.545I''_h^* = 10.94\Delta U^* \quad (2)$$

冲击电流主要为无功电流分量, 它所产生的电动力对发电机绕组有影响, 由于并列操作为正常运行操作, 冲击电流 i''_{hm}^* 取不大于 1.0~2.0 倍发电机额定电流 i_{gn}^* 。

$$i''_{hm}^* \leq (1.0 \sim 2.0)i_{gn}^* \quad (3)$$

式中, i_{gn}^* 为发电机额定电流标么值, 取 1.0。

将式 (2) 代入式 (3) 整理得: $\Delta U^* \leq (0.0914 \sim 0.1828)$; $\Delta U \leq (9.14\% \sim 18.28\%)$ 。

2) 合闸相角差

设并列合闸时, 发电机电压 U_g 等于系统电压 U_s 、发电机频率 f_g 等于系统频率 f_s 、合闸瞬间存在相角差 δ 。这时发电机为空载状态, 电动势即为端电压并与系统电压相等, 则冲击电流的有效值为

$$I''_h^* = \frac{2E''_q^*}{X''_q^* + X_s^*} \sin \frac{\delta}{2} = \frac{\Delta U^*}{0.1618 + 0.071} = 4.3\Delta U^* \quad (4)$$

式中: X''_q^* 为发电机横轴超瞬变电抗; E''_q^* 为发电机横轴超瞬变电动势, 取 1.0; $\Delta U^* = 2E_q^* \sin \frac{\delta}{2}$ 为电压差标么值。

当相角差较小时, 冲击电流主要为有功电流分量, 说明合闸后发电机与系统立刻交换有功功率, 使机组联轴受到突然冲击, 对机组和系统都是不利的。为了保证机组安全运行, 一般将有功冲击电流限制在较小值。参照式 (2), 求出其冲击电流最大

瞬时值, 冲击电流 i''_{hm} 取不大于 1.0 倍发电机额定电流 i_{gn}^* 。

$$i''_{hm}^* \leq 1.0i_{gn}^* \quad (5)$$

将式 (2) 代入式 (5) 整理得: $\Delta U^* \leq 0.0914$; $\Delta U \leq 9.14\%$ 。

3) 频率不相等

设待并发电机并列合闸时, 发电机电压 U_g 等于系统电压 U_s 、频率不相等, 即 $f_g \neq f_s$ 。这时断路器两侧电压差 U_c 为正弦脉动电压, 对 U_c 可简化描述为:

$$u_c(t) = 2U_{\max} \sin \frac{\omega_{hc}t}{2} = 2U_{\max} \sin \frac{\delta_e}{2} \quad (6)$$

式中: $2U_{\max}$ 为正弦脉动波的最大幅值; $\omega_c = \omega_g - \omega_s$ 为滑差角频率; $\delta_e = \omega_{hc}t$ 为相位差。

由式 $\delta_e = \omega_{hc}t$ 可知, 相角差是时间的函数, 可见并列合闸时合闸相角差与发出合闸脉冲的时间有关。在自动同期装置合闸脉冲发出后, 经过断路器的固有合闸时间, 断路器主触头接通的瞬间, 合闸相角差应正好为零; 但实际上由于存在各种误差, 主要为自动同期装置合闸脉冲输出误差、断路器固有合闸时间误差等影响, 使得合闸相角差不为零, 在不大于发电机最大允许角 δ_{yx} 情况下, 还是允许并列合闸。 δ_{yx} 的大小是根据发电机允许承受的冲击电流确定的(已给定 $i''_{hm}^* = \sqrt{2}i_{gn}^*$), 由将式 (4) 代入式 (2) 整理得

$$\delta_{yx} = 2 \arcsin \frac{i''_{hm}^* (X''_q^* + X_s^*)}{2 \times 1.8 \sqrt{2} E''_q^*} =$$

$$2 \arcsin \frac{\sqrt{2}(0.1618 + 0.071) \times 1}{2 \times 1.8 \times \sqrt{2} \times 1.05} = 7.06^\circ \quad (7)$$

式中, E''_q^* 取 1.05, 是考虑并列时电压有可能超过额定电压值的 5%。

发电机组的最大允许滑差为 ω_{yx} 由式 (8) 确定

$$\omega_{yx} = \frac{\delta_{yx}}{|\Delta t_{di}| + |\Delta t_c|} = \frac{7.06}{|0.12 \times 0.1| + |0.01|} = 5.56(\text{rad/s}) \quad (8)$$

3 同期闭锁继电器动作行为分析

设同期闭锁继电器的动作电压为 U_{op} , 对应的相角差为 δ_{op} ; 返回电压为 U_{re} , 对应的相角差为 δ_{re} ; 返回系数取 $K_{re} = 0.8$; 继电器动作时间为 t_{op} 。

继电器动作方程为:

$$\Delta U^* = 2U^* \sin \frac{\delta}{2} = 2U^* \sin \frac{\omega_{hc} t}{2} \quad (9)$$

1) 频率不相等时

$$t_{op} \omega_s = \delta_{op} + \delta_{re} = (1 + K_{re}) \delta_{op} \quad (10)$$

将发电机最大允许滑差 ($\omega_{yx} = \omega_s$) 式 (8)、断路器的固有合闸时间 ($t_{dl} = t_{op}$) 代入式 (10), 得

$$\delta_{op} = \frac{0.12\omega_{yx}}{(1+0.8)} = 21.39^\circ \quad (11)$$

在 t_{op} 这段时间内继电器的常闭触点是闭合的, 如果 t_{op} 大于 t_{dl} , 则发电机断路器合闸成功且对合闸冲击电流在允许范围内; 如果 t_{op} 小于 t_{dl} , 则继电器不动作, 断开发电机的合闸回路。

2) 电压幅值差

由式 (3) 的结果: $\Delta U^* \leq (0.0914 \sim 0.1828)$; $\Delta U \leq (9.14\% \sim 18.28\%)$, 代入式 (9) 得

$$\delta_{op} = 2 \arcsin(2\Delta U^*) \leq (21.06^\circ \sim 42.88^\circ)$$

3) 合闸相角差

由式 (5) 结果: $\Delta U^* \leq 0.0914$; $\Delta U \leq 9.14\%$, 代入式 (9) 得

$$\delta_{op} = 2 \arcsin(2\Delta U^*) \leq 21.06^\circ$$

4 整定计算值的确定

1) 通过分析计算, 求取三种并网状态下继电器动作方程解的全集, 即

$\delta_{op} = (21.06^\circ \sim 42.88^\circ)$, 考虑误差等因素, 最终取 $\delta_{op} = (20^\circ \sim 40^\circ)$ 。

2) 将并网冲击电流瞬时值限制在 1.0~2.0 倍发电机额定电流 i_{gn}^* 以下, 为同期闭锁继电器整定的基本原则。

5 总结

综上所述, 待并系统两侧电气量的电压幅值差、频率差、相角差的允许范围, 都是以发电机组本身所能承受的冲击电流来确定的, 同期闭锁继电器的启动值的整定更是以上述结论为依据而确定的。我们应当看到三种同期并列状态其实质都是在电气一次系统中产生了电压差, 而同期闭锁继电器正是通过测量、比较待并系统两侧电压差而动作的, 进而将并列时产生的冲击电流对发电机组产生的影响降至最低。

参考文献

[1] 杨冠城. 电力系统自动装置原理[M]. 三版. 北京: 中国电力出版社, 2005.
YANG Guan-cheng. Principles of power system automatic device[M]. Third edition. Beijing: China Electric Power Press, 2005.

收稿日期: 2009-11-03; 修回日期: 2009-12-07

作者简介:

牛国勇 (1979-), 男, 本科, 助理工程师, 从事继电保护技术管理工作; E-mail: LZRD_JDBH@163.com

郭安利 (1979-), 女, 本科, 助理工程师, 从事电力系统管理工作。

(上接第 175 页 continued from page 175)

[5] Maurice Huneault, Christian Langheit. Combined models for glaze ice accretion and de-icing of current-carrying electrical conductors[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2005, 20(2): 1611-1616.
[6] 饶宏, 李立成, 黎小林. 南方电网融冰技术及应用研究[R]. 贵阳: 中国南方电网公司有限责任公司, 2008, 2(2): 7-12, 36.
RAO Hong, LI Li-cheng, LI Xiao-lin. Study of DC based de-icing technology in China southern power grid[J]. Southern Power System Technology, 2008, 2(2): 7-12, 36.
[7] 许树楷, 杨煜, 傅闯. 南方电网直流融冰方案仿真研究[J]. 南方电网技术, 2008, 2(2): 31-36.
XU Shu-kai, YANG Yu, FU Chuang. Simulation study of DC de-icing scheme for China southern power grid[J].

Southern Power System Technology, 2008, 2(2): 31-36.
[8] 饶宏, 李立成, 黎小林, 等. 南方电网融直流融冰技术研究[J]. 南方电网技术, 2008, 2(2): 7-12, 36.
[9] 南方电网技术研究中心. 超高压输电公司线路融冰技术应用可行性和实施方案[R]. 广州: 南方电网技术研究中心, 2009.
[10] 南京南瑞继保工程技术有限公司. 南网超高压仿真分析说明[R]. 2010.

收稿日期: 2010-09-08

作者简介:

卢志良 (1979-), 男, 本科, 工程师, 主要从事高压直流输电控制保护、电能质量分析、静止型无功补偿装置等研究。E-mail: Allenlzl@sina.com.cn