

某发电厂#1、#2发电机保护误动原因分析

张棋¹, 陈艳², 周钢农¹, 盖欣¹

(1. 国电南京自动化股份有限公司, 江苏 南京 210003; 2. 宁夏沙坡头水利枢纽有限责任公司, 宁夏 中卫 751700)

摘要: 以某发电厂两台 135 MW 机组在正常运行中突然相继跳闸为例, 论述了保护动作的原因, 并根据保护装置动作的行为和录波数据, 分析了整个事件的过程。指出部分错误的接线、定值的偏低和保护判据的不完善是导致此次保护装置误动的主要原因。根据现场实际情况, 通过整改接线及重新设置保护逻辑等措施进行了改进, 增强了保护装置的可靠性, 提高了机组的安全稳定性。

关键词: 匝间保护; 接地保护; 数据分析; 整改措施

Analysis of #1 and #2 generator protection maloperation in a power plant

ZHANG Qi¹, CHEN Yan², ZHOU Gang-nong¹, GAI Xin¹

(1. Guodian Nanjing Automation Co., Ltd., Nanjing 210003, China;

2. Ningxia Shapotou Hydro-junction Co., Ltd., Zhongwei 751700, China)

Abstract: Taking the sudden trip of two 135 MW sets in a power plant as an example, this paper discusses the factors that trigger the relays' trip and analyzes the whole event based on relay operation behaviour and recorded data. Wrong connection, lower setting values and imperfect trip judgement are the main reasons causing the maloperation of the relay. According to the practical situation on site, connection and protection logic are improved, so that the reliability of relay is strengthened and the generators' stability and safety are enhanced.

Key words: inter-turn protection; ground protection; data analysis; corrective measures

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2010)15-0143-04

0 引言

随着我国微机保护技术的不断发展, 传统的继电器式、集成电路式保护已经慢慢地走出了人们的视野, 原理成熟、人机界面友好的新型数字式保护装置已经逐步取代了老一代的保护装置, 但是新型保护也需要完善合理的逻辑组合和现场的正确维护才能发挥它的应有作用, 下文以华东某电厂两台 135 MW 机组在运行中无故障跳闸为分析案例, 提出了一些看法及意见。

1 事故经过

2008年6月8日20:07某发电厂在运行中的#1机组高压侧开关突然跳闸, #1发电机组被迫停运。跳闸原因为#1发电机定子匝间灵敏段保护动作, 此前#1、#2发电机运行正常, #1发电机带有功 120 MW; 无功 35.5 Mvar; 定子电压 15.75 kV; 系统电压 115.3 kV。事故当晚有大雨雷电。事故发生后有

关人员立即赶到现场, 对有关现象及记录进行分析, 在处理#1机组事故过程中, 20:12 #2发电机组高压侧开关跳闸, 造成#2发电机组停运。经查#2发电机跳闸原因为定子接地保护动作, 此前#2发电机有功 135 MW; 无功 39 Mvar; 定子电压 15.66 kV; 系统电压 118.5 kV, 未有异常。当时通过调阅#1、#2机保护动作记录、故障录波记录, 进行分析处理, 考虑当时气象情况, 经综合分析认为不是一次设备问题, 原因可能为雷电及保护装置本身定值原因造成, 后对#1、#2机升压试验正常后, 先后并网投运。

2 调查经过

1) #1发电机组跳闸后, 电气维护人员向运行人员了解当时情况, 调阅保护动作报告、发电机故障录波记录、线路故障录波记录、远跳装置记录和线路保护记录。查保护动作情况为定子匝间灵敏段保护动作, 当时记录保护装置 CPUE 零序电压基波分量 $3U_0 = 2.0456 \text{ V}$; 三次谐波分量 $3U_{0.3W} = 1.8128 \text{ V}$;

$\Delta U_{ab}=0.185 \text{ V}$, $\Delta U_{bc}=0.2467 \text{ V}$, $\Delta U_{ca}=0.1439 \text{ V}$, $U_2=0.1875 \text{ V}$; 保护装置 CPUO 零序电压基波分量 $3U_0=2.0293 \text{ V}$, 三次谐波分量 $3U_{0.3w}=1.7802 \text{ V}$, $\Delta U_{ab}=0.185 \text{ V}$, $\Delta U_{bc}=0.2261 \text{ V}$, $\Delta U_{ca}=0.1439 \text{ V}$, $U_2=0.1918 \text{ V}$; 发电机故障录波 $3U_0=0 \text{ V}$, 线路故障录波 $3U_0=0.48 \text{ V}$ (最大 2.01 V)。

2) 由于在查找#1 发电机组跳闸原因时, #2 发电机组又跳闸停运, 随即对#2 发电机各装置进行检查, 查保护动作情况为基波零序电压式定子接地 (90%定子接地) 保护动作, 当时记录 CPUO 零序电压基波分量 $3U_0=14.5821 \text{ V}$, CPUO 零序电压基波分量 $3U_0=14.5821 \text{ V}$, 发电机故障录波 $3U_0=3210/635=5.055 \text{ V}$, 屏实测故障前 1718 ms 零序电压 $3U_0=6.003 \text{ V}-7.078 \text{ V}$, 且发电机三相电压严重畸变, 线路故障录波远跳装置发信指示灯亮, 事后查对侧开关跳闸原因为远方跳闸动作, 线路保护未动。

3 事故原因分析

3.1 #1 发电机跳闸原因

#1、#2 发电机保护装置均采用 DGT801 系列微机发变组保护装置, 在 2002 年正式投产使用, 发电机纵向零序电压式匝间保护反映的是发电机纵向零序电压的基波分量, 纵向零序电压取自机端专用 4PT 的开口三角输出端。保护采用两段式: I 段为次灵敏段, II 段为灵敏段。动作方程为

$$\begin{cases} 3U_0 > 3U_{0h} \\ 3U_0 > 3U_{0l} \\ (3U_0 - 3U_{0l}) > K_z (U_{03w} - U_{03wn}) \end{cases}$$

式中: $3U_0$ 、 $3U_{03w}$ 为零序电压基波和三次谐波计算值; $3U_{0l}$ 、 $3U_{0h}$ 、 K_z 、 U_{03wn} 为纵向零序电压式匝间保护整定值, 见表 1。

表 1 保护整定值
Tab.1 Relay setting

名称	动作电压		压差	三次谐波额定值	三次谐波制动系数	延时	功率动作方向 (未投)
	高定值	低定值					
符号	$3U_{0h}$	$3U_{0l}$	ΔU	U_{03wn}	K_z	t_0	P_{2F}
整定值	6	2	8	3	0.4	0.2	"0"或"1"
单位	V	V	V	V		s	控制字

保护动作逻辑如图 1。

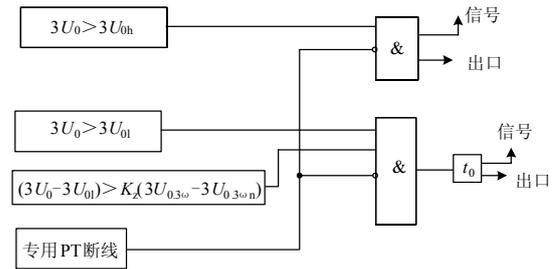


图 1 发电机纵向零序电压式匝间保护动作逻辑图

Fig.1 Block diagram of voltage-type longitudinal zero-sequence inter-turn protection

保护动作方程:

$$\begin{cases} 3U_0 > 3U_{0h} \\ 3U_0 > 3U_{0l} \\ (3U_0 - 3U_{0l}) > K_z (U_{03w} - U_{03wn}) \end{cases}$$

本工程发电机定子匝间保护负序功率方向闭锁未投入运行, 原因为当时负序功率闭锁性能尚未完全确定, 故并没有开放此功能。

根据查阅#1 发电机保护动作后的事故报告, 启动保护时零序电压 $3U_0$ 基波分量 2.045 V , 已大于保护灵敏段定值 ($3U_{0l}=2 \text{ V}$); 三次谐波制动量 $3U_{03w}=1.81 \text{ V}$, 经计算基波差大于三次谐波制动值, 该条件也满足。

由于匝间保护灵敏段保护整定动作为 0.2 s , 短时保护动作, 跳开#1 高压侧开关, 解列灭磁。

查找原因分析: 设计院在设计时误将发电机机端 3PT、4PT 开口三角电压输出在变送器屏短接, 造成 3PT 开口三角电压进入保护装置的定子匝间保护零序通道的输入回路, 由于 4PT 为专用匝间保护 PT, 来至 3PT 开口三角电压各电压分量形成干扰, 特别在系统出现较大波动或不平衡时, 造成保护装置误判断、误动作。

造成发电机零序电压升高的原因分析应该为系统线路受到雷电感应 (#1、#2 机各避雷器均未动作), 经主变耦合传变至发电机侧, 在发电机机端 PT 开口形成电压, 其电压较正常运行时不平衡电压大, 且谐波分量复杂, 使基波和谐波分量均已达到保护动作条件。还有一原因是大雨雷电时, 不排除当时定子连接回路中由于下雨造成经高阻接地的可能性, 特别在穿墙套管处, 出现这种情况也是导致发电机匝间保护动作的条件之一 (这时很容易产生 $3U_0$ 电压, 又因为 3PT 和 4PT 的开口三角在变送器屏上短接)。

事故发生后, 经设计院确认, 该接线已调整。但断开 3PT、4PT 开口三角短接线前后, 经实际测

试, 零序电压 $3U_0$ 基波分量比改动前上升, 而三次谐波制动力 $3U_{03W}$ 反而减小, 从这一现象看, 保护更容易动作, 是否为装置基波滤波性能不佳, 有待停机后对通道性能进一步检查。针对这一现象在停机后, 又专门对匝间保护的通道进行单独输入纯基波、纯 $3W$ 、以及将基波和 $3W$ 叠加输入装置, 通道的计算值均合乎外加的电压值, 并且对匝间保护的逻辑功能详细地进行实验, 均没有任何问题。

还有就是在保护装置的 PT 接线回路中, 因为电厂接地系统是 B 相接地方式^[1], 比较特殊, 对微机保护存在着隐患, 根据《反措》及《规程》^[2]要求接地点一定要在保护屏上接地, 而实际接地点是在变送器屏上接地的, 这也是匝间保护误动的一个原因。这一点也告知需整改(该项对#2 机同样适用, 也是 $3U_0$ 保护误动的原因之一)。

定子匝间保护定值偏小使保护经受外界干扰能力不足。发电机正常运行时, 互感器的不平衡基波零序电压很小, 因此定值选低不会出现问题, 在外系统短路或受冲击时引起误动作。根据经验一般零序电压基波分量 $3U_{0h}$ 取 $8V$ 以上, $3U_{0l}$ 取 $(0.4\sim 0.8)3U_{0h}$; 实际机组定值 $3U_{0h}=6V$, $3U_{0l}=2V$ 。但定值加大又将影响保护动作灵敏度, 对保护设备不利。

3.2 #2 发电机跳闸原因

保护装置所采用基波零序电压式定子接地保护, 保护范围为由机端至机内 90% 左右的定子绕组单相接地故障。保护接入 $3U_0$ 电压取自发电机机端 3PT 开口三角绕组两端。

保护逻辑框图如图 2。

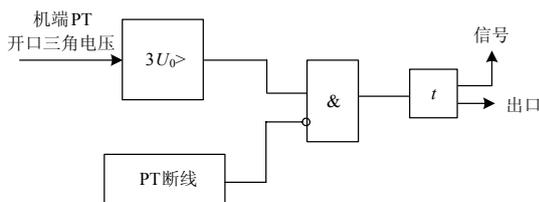


图 2 发电机基波零序电压式定子接地保护动作逻辑图

Fig.2 Block diagram of generator stator earth fault protection with fundamental zero-sequence voltage

基波零序电压式定子接地保护跳闸条件: 电压回路没有断线; 基波零序电压达到动作值 $3U_0=6V$, 且持续时间达到 $7s$ 。

事后调查跳闸前未发出 3PT 断线信号, 检查也未发现熔断器及回路故障。

从故障录波器曲线查阅动作跳闸前 $7s$ $3U_0$ 均在 $6V$ 以上, 发电机机端电压三相不平衡: $U_A=95\%U_n$ 、 $U_B=103.5\%U_n$ 、 $U_C=101\%U_n$, 波形严重畸变, 但实际打印出曲线折算至二次侧电压为

$3U_0=5.05V$; 从发变组保护装置事故记录 $3U_0=14.48V$, 从 DCS 记录也可看到, 发电机机端 3PT 开口三角绕组 $3U_0$ 电压跳闸前最高 $19.71V$, 此前电压也长时间超过 $6V$ 。

事后保护班人员对该通道精度及动作值校核, 均符合要求。

从以上数据来看基波零序电压式定子接地保护跳闸条件确已满足。

原因分析: 由于基波零序电压定子接地保护有长达 $7s$ 延时, 雷电短时冲击不会持续这么长时间。虽然当时发电机电压严重不平衡, 但 $110kV$ 侧电压相差不大, 由于主变 $110kV$ 中性点接地运行, $110kV$ 侧零序电压不会持续很高、很长, 通过线路故障录波经计算约 $650V$, 通过主变耦合传递至发电机侧(二次在 $2V$ 多), 与发电机侧固有零序电压叠加后也不应时保护动作。分析一种原因是由于系统线路受到雷电冲击, 雷电波通过线路经主变传递至发电机侧, 这种冲击电压具有零序性质, 机端电压不平衡, 形成机端电压互感器铁磁谐振, 此情况多发生在并网前; 或与发电机中性点 1PT 出现谐振, 现无确切数据能证明。虽然当时检查未发现一次系统有明显问题, 不排除当时定子连接回路中由于下雨造成经高阻接地的可能^[3], 特别在穿墙套管处, 出现这种情况正是发电机定子接地保护动作的条件。

保护定值偏小也是保护动作原因之一。根据经验当引出线不是封母, 且引出室外时, 一般零序电压基波分量取 $10\sim 13V$, 实际定值 $6V$ 。

4 整改措施及建议方案

4.1 对于定子匝间保护增加或开放负序功率方向闭锁条件^[4]

保护利用负序功率方向判断是发电机内部不对称还是系统不对称故障, 保护的灵敏度很高, 但需要确定负序功率的动作方向, 逻辑判据如图 3 所示。

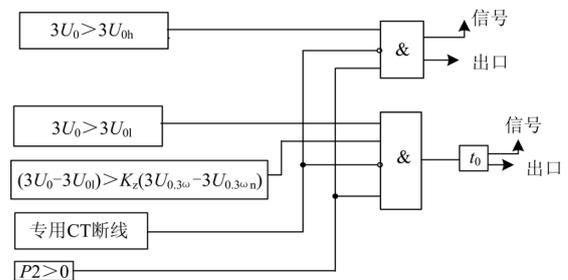


图 3 增设负序功率定子匝间保护动作逻辑图

Fig.3 Action logic of inter-turn protection with negative -sequence power directional relay

增设和开放负序功率判据，动作方向应指向机内。即当发电机内部发生短路时，其输出的负序功率为正，负序功率方向元件动作并开放匝间保护出口。

4.2 对发电机基波零序式定子接地保护建议修改为 $3U_0$ 同时取机端和中性点的 $3U_0$ 电压

发电机定子回路中某点发生单相接地时，定子回路中各点（包括与定子绕组连接的母线、主变高压侧变低压绕组、电压互感器等）的基波零序电压相同，因此，利用机端基波零序电压作为动作参量的定子接地保护不能区分故障点位于发电机内部或外部，存在主变高压侧及6 kV厂用电接地故障时误动^[5]，这是这种保护的固有缺点。发电机正常运行时不平衡零序电压会超过定值，有时因电压互感器饱和会更大，但不平衡零序电压基本上是三次谐波成分，基波成分极小，三次谐波滤过器性能越好，接地保护的电压可整定越小，保护范围越大，但不能实现100%定子接地保护。由于以上原因，该保护逻辑最好选用取中性点PT电压或两PT电压相互闭锁方式^[6]，两套零序电压式定子接地保护的交流接入回路方式为：一套接入发电机中性点配电变压器二次电压（图4），另一套接入机端PT开口三角形电压和中性点配电变压器二次电压如图5所示。注意：当保护取自中性点PT电压时，整定时需注意该组PT的变比。

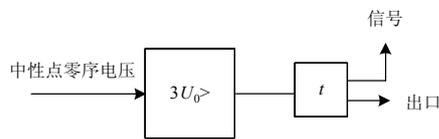


图4 取中性点PT电压

Fig.4 $3U_0$ at the generator neutral

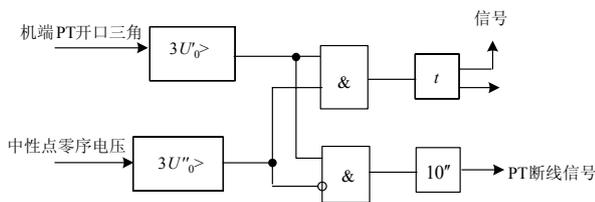


图5 取自中性点PT电压及机端零序电压

Fig.5 $3U_0$ at the generator terminal and neutral

5 结束语

此次事故是由于现场误接线及保护判据不完善引起的保护不正确动作，近几年来发电机纵向零序式定子匝间保护及零序电压式定子接地保护在国内经常有不正确动作的案例，本文通过此次机组跳闸事故的分析，找到了事故的原因，分析了保护误动原因和过程，同时提出了几点整改措施和建议方案，

希望在今后的机组运行、调试维护及保护设计方案中引起足够的重视，避免再出现类似事故。

参考文献

[1] 李仲明. PT 二次侧 B 相接地时微机保护自产和外接 $3U_0$ 的剖析[J]. 继电器, 2002, 28 (2): 20-24.
LI Zhong-ming. Analysis on the self-produced and out-connected $3U_0$ of microprocessor-based protection at B phase earthing on secondary side of PT[J]. Relay, 2002, 28 (2): 20-24.

[2] GB/T 14285-2006 继电保护和安全自动装置技术规程[S].
GB/T 14285-2006 technical code for relaying protection and security automatic equipment[S].

[3] 梁颖. 发电机定子接地保护动作的原因分析及处理[J]. 高电压技术, 2007, 33(6): 194-195.
LIANG Ying. Analysis and processing on an operation of the stator ground protection of a set of generator[J]. High Voltage Engineering, 2007, 33(6): 194-195.

[4] 李玉海, 李久红, 张小庆, 等. 纵向零序电压型发电机匝间保护几个问题[J]. 电力自动化设备, 2001, 21(10): 62-66.
LI Yu-hai, LI Jiu-hong, ZHANG Xiao-qing, et al. Problems in voltage-type longitudinal zero-sequence inter-turn protection for generator[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 21(10): 62-66.

[5] 杨文超, 张立港, 李红军. 大型发电机组定子接地保护 $3U_0$ 定值整定的探讨[J]. 继电器, 2007, 35(4): 18-21.
YANG Wen-chao, ZHANG Li-gang, LI Hong-jun. Discussion about stator grounded protection $3U_0$ setting in large power plant[J]. Relay, 2007, 35(4): 18-21.

[6] 李莉, 刘万斌, 李玉海. 1000 MW 发电机组保护的配置及选型[J]. 华电技术, 2008, 30(8): 8-12.
LI Li, LIU Wan-bin, LI Yu-hai. Protection configuration and type selection for 1000 MW generator set[J]. Huadian Technology, 2008, 30(8): 8-12.

[7] 史世文. 大机组继电保护[M]. 北京: 水利电力出版社 1987.

[8] 王维俭. 大型机组继电保护理论基础[M]. 北京: 中国电力出版社, 1989.

[10] 李玉海. 电力系统主设备继电保护试验[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.

收稿日期: 2009-10-10; 修回日期: 2009-12-15

作者简介:

张 棋 (1980-), 男, 工程师, 主要从事发电厂继电保护产品的设计、技术管理和技术支持工作; E-mail: 21013287@163.com

陈 艳 (1981-), 女, 工程师, 主要从事发电厂继电保护管理工作;

周钢农 (1981-), 男, 助理工程师, 主要从事厂站综合自动化产品技术支持工作。