

## 关于一起汽轮发电机定子接地保护动作的分析与处理

邓祖前

(广州恒运企业集团有限公司, 广东 广州 510730)

**摘要:** 某电厂一台 210 MW 汽轮发电机的三次谐波定子接地保护动作后, 通过对该保护 A、B 屏有关数据的分析比较, 排除了该发电机在中性点附近发生定子单相接地故障的可能。经检查, 发现了该保护回路中的接线错误, 重新接线后, 使保护恢复了正常。并对该保护动作方程中的变比平衡系数进行了分析, 给出了计算方法, 结合实测数据, 在不同的变比平衡系数下, 对该保护的制动量和制动力进行了理论计算。通过对比分析, 并考虑到发电机中性点接地方式的特点, 指出了该保护在应用上和定值整定上存在的问题。

**关键词:** 接线错误; 干扰; 变比平衡系数; 灵敏度

## Analysis and processing on an operation of the stator ground protection of a set of gas-generator

DENG Zu-qian

(Guangzhou Hengyun Enterprises Holding Ltd., Guangzhou 510730, China)

**Abstract:** After operation of stator ground protection based on the third harmonic in a power station that have a set of 210 MW gas-generator, the possibility of single-phase grounding fault was obviated near the generator stator neutral point by comparing and analyzing about A and B screen's data. After checking, it found out the connection error in the protection circuit and made the protection under normal condition after re-connection; then analysed the transformer ratio balance coefficient in the action equation of the protection, gave its calculating method, according to different transformer ratio balance coefficient and the actual measured data, calculated theoretically the action value and resistance value. After comparing and analyzing, and considering the feature of the generator neutral point grounding, it points out the problem of protection on application and setting.

**Key words:** connecting error; disturbance; transformer ratio balance coefficient; sensitivity

中图分类号: TM77

文献标识码: B

文章编号: 1003-4897(2007)07-0077-03

## 1 基本情况

某电厂 6 号汽轮发电机组, 容量 210 MW, 双水内冷冷却方式, 中性点采用经配电变压器高阻接地方式, 该机组配置微机保护装置, A、B 屏为电气量保护, 为双重化配置, C 屏为非电量保护, 采用双频式 100%定子接地保护方式, 其中的三次谐波定子接地保护投发信号运行, 动作方程为  $|U_{3s} + K_p U_{3n}| \geq K'' |U_{3n}|$ , 其中  $U_{3s}$  和  $U_{3n}$  分别为发电机机端 PT 开口三角绕组和中性点配电变压器二次侧输出的三次谐波分量,  $K_p$  为变比平衡系数,  $K''$  为制动系数。

## 2 保护出现的问题及检查结果

## 2.1 保护出现的问题

该保护自投入运行后不久, B 屏的三次谐波电压型定子接地保护在机组启机的低负荷段和机组满负荷稳定运行时偶有动作(发信号), 但经复归后信号都能消失。多次检查未果, 2005 年 2 月, 保护厂家

对该保护进行了软件升级, 并对有关信号插件的硬接线进行了部分修改, 为此, 厂家技术人员对保护装置进行了一次全面的校验, 未发现问题, 但机组启动加负荷后, 该保护再次动作, 且信号不能复归, 而 A 屏的这一保护未动作。通过保护装置的模拟量显示窗口还可看到 A、B 屏的基波不平衡电压  $3U_0$  相差很大, 现列出 A、B 屏有关各量的表格以资比较, 见表 1。

A、B 屏采用的电压互感器分别为发电机机端电压互感器 1PT 和 2PT,  $K_p U_{3n}$  为经变比平衡之后的中性点三次谐波电压, 从表 1 可看出:

a) A 屏  $U_{3s}$  与  $K_p U_{3n}$  幅值和相位都正常, 故保护不动作, 而 B 屏的  $K_p U_{3n}$  的幅值正常,  $U_{3s}$  的幅值很小, 仅为 0.33 V, 根据保护的制动方程  $|U_{3s} + K_p U_{3n}| \geq K'' |U_{3n}|$  (式中  $K_p=1.27$ ,  $K''=0.7$ ) 知保护的制动量大于制动力, 故保护动作。

b) B 屏的  $3U_0$  的幅值较大, 大于 1 V 而达到了 1.11 V (远大于未升级和改接线前的约 0.20 V), 与 A 屏比较, B 屏的三个单相电压的对称度稍差, 特

别是  $U_{an}$  的幅值比其它两相的都低，这是使 B 屏的  $3U_0$  偏大的直接原因。

表 1 保护动作时，A、B 屏有关各量的比较 ( $P=207.0 \text{ MW}$ ,  $Q=75.0 \text{ Mvar}$ )

Tab.1 Comparison of relative data on A and B screen when protection trips ( $P=207.0 \text{ MW}$ ,  $Q=75.0 \text{ Mvar}$ )

	$U_{3s}/V$	$K_p U_{3n}/V$	$U_{an}/V$	$U_{bn}/V$	$U_{cn}/V$	$3U_0/V$
A 屏	$2.56 \angle 122^\circ$	$3.32 \angle 333^\circ$	$57.68 \angle 233^\circ$	$57.65 \angle 113^\circ$	$57.61 \angle 353^\circ$	0.15
B 屏	$0.33 \angle 340^\circ$	$3.32 \angle 150^\circ$	$56.01 \angle 280^\circ$	$57.11 \angle 159^\circ$	$57.52 \angle 38^\circ$	1.11

经过分析，我们认为，此保护属于误动作，这是因为：

a) A 屏该保护的  $U_{3s}$ 、 $K_p U_{3n}$  的幅值和相位均正常，保护不动作。

b) B 屏的  $U_{3s}$  的幅值很小，而  $K_p U_{3n}$  的幅值正常且与 A 屏的一致，但根据理论分析，当发电机定子绕组靠近中性点附近发生单相接地短路时， $U_{3s}$  幅值增大， $K_p U_{3n}$  幅值减小。

c) 与保护未进行软件升级和改信号插件硬接线之前对比。

因此，我们否定了一次系统存在问题的可能性，重点检查保护及有关的回路。

### 2.2 检查的经过及结果

为了查清原因，打开了保护屏端子排靠保护内侧的线槽的盖板，终于发现有一条线接错了，为清楚起见，现画出 2PT 交流电压回路在保护屏的端子排图：由图 1 可见，本该如虚线所示接于 8 号端子的线却错误地接成如实线所示的 9 号端子。这样一来，本该是 2PT 二次绕组的零线与三次绕组的开口三角零线在保护屏端子排处短接后接地却错误地接成了将开口三角短接并接地，分析认为可能是保护升级后在对保护装置检验时解开了接 8 号端子的接地线，而在校验完成后，恢复时出现了上述错误。这就造成：

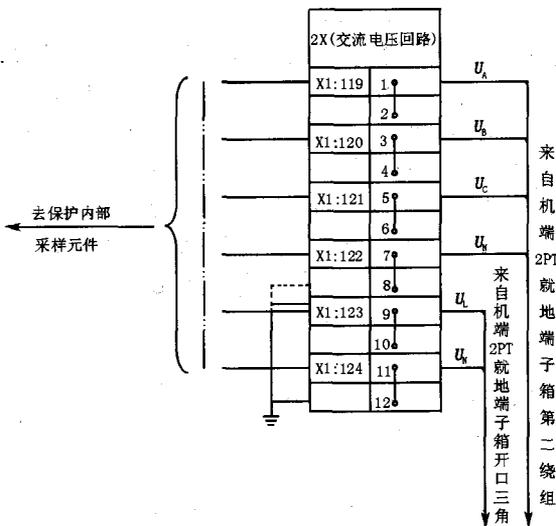


图 1 2PT 交流电压回路在保护屏的端子排图

Fig.1 Terminal rows of the 2PT AC voltage in the protection screen

a) 2PT 开口三角输入保护装置的  $U_{3s}$  信号很小，只有很小的杂散信号，为 0.33 V。

b) 2PT 二次绕组的零线没有接地，造成中性点位移，三相电压对称度变差，出现了较大的基波零序电压  $3U_0$  达 1.11 V。

恢复接线后发现：B 屏  $U_{3s}$  幅值在 1.90~2.56 V 之间变动，而 A 屏的  $U_{3s}$  的幅值在 2.53~2.56 V 之间变化。分别对 A、B 屏的  $U_{3s}$  进行录波，结果发现 A 屏的  $U_{3s}$  波形很正常，B 屏的  $U_{3s}$  的波形产生较大程度的畸变。检查发现：B 屏来自 2PT 就地端子箱的开口三角的 L、N 线的电缆屏蔽层只在保护屏一端接地且不可靠，而在就地端子箱处未接地。明显地违反了“采用静态保护时，二次回路应采用凯装电缆或屏蔽电缆，且屏蔽层应在两端接地”的反措要求，致使 B 屏的  $U_{3s}$  受到较大的干扰，造成该保护在投运后就偶有动作。

### 3 采取的措施及取得效果

#### 3.1 措施

将图 1 的 2PT 交流电压回路端子排图中接于 9 号端子的线解开向上移动一个端子，接于 8 号端子；将 B 屏来自 2PT 就地端子箱的开口三角的 L、N 线电缆屏蔽层在保护屏处和就地端子箱处分别可靠接地。

#### 3.2 取得的效果

为了与表 1 的数据进行比较，故障处理后我们对有关各量进行观察如表 2。

由表 2 可看出在 P、Q 与表 1 的相接近的情况下：

a) B 屏的  $U_{3s}$  的幅值由原来 0.33 V 变为 2.53 V 且与 A 屏一致，且通过微机保护显示窗口可见  $U_{3s}$  的幅值在 2.49~2.54 V 之间变动，变动范围很小，与解开端子排处 L、N 线，直接用专用数字式谐波电压表测得的结果相一致。

b) B 屏的三相电压不对称度得到改善，尤其 A 相电压幅值有较明显改善，这就使得 B 屏的  $3U_0$  由原来的 1.11 V 降至 0.2 V 且变化较小，与 A 屏的很接近。

c) A 屏  $U_{3s}$  超前  $U_{3n}$   $150^\circ$ ，B 屏  $U_{3s}$  超前  $U_{3n}$   $149^\circ$ ，正常。

另外对 B 屏的  $U_{3s}$  再一次进行录波，波形得到

很大改善且与 A 屏的基本一致,多次观察 B 屏的  $U_{3s}$  再也没有误动过,问题得到了解决。与  $3U_0$  均正常,采取措施后,该保护运行了大半年了,

表 2 故障处理后 A、B 屏有关各量的比较 ( $P=201.3 \text{ MW}, Q=73.0 \text{ Mvar}$ )

Tab.2 Comparison of relative data on A and B screen when fault is removed ( $P=201.3 \text{ MW}, Q=73.0 \text{ Mvar}$ )

	$U_{3s}/V$	$K_p U_{3n}/V$	$U_{an}/V$	$U_{bn}/V$	$U_{cn}/V$	$3U_0/V$
A 屏	$2.53 \angle 30^\circ$	$3.26 \angle 240^\circ$	$57.72 \angle 286^\circ$	$57.71 \angle 166^\circ$	$57.62 \angle 46^\circ$	0.15
B 屏	$2.53 \angle 41^\circ$	$3.26 \angle 252^\circ$	$57.29 \angle 171^\circ$	$57.45 \angle 51^\circ$	$57.49 \angle 291^\circ$	0.2

#### 4 保护定值中变比平衡系数 $K_p$ 和保护方案选择的讨论

为了更好地比较,我们记录了  $U_{3s}$  及  $U_{3n}$  的实

测值随  $P$  的变化,并计算出在相应的  $K_p$  下的保护的  
动作量和制动量列于表 3。

表 3 中  $U_{3s} \wedge U_{3n}$  指  $U_{3s}$  超前  $U_{3n}$  的角度,定值  
中  $K''$  取 0.7,  $K_p$  取 1.27。

表 3  $U_{3s} \cdot U_{3n}$  随  $P$  的变化趋势和相应的制动量和动作量

Tab.3 Tendency of  $U_{3s} \cdot U_{3n}$  according to  $P$  change, and corresponding action value and resistance value

P/MW	$U_{3s}/V$	$U_{3n}/V$	$K_p U_{3s}/V$		$U_{3s} \wedge U_{3n} /(^{\circ})$	$ U_{3s} + K_p U_{3n} /V$		$K'' U_{3n} /V$
			修正前	修正后		修正前	修正后	
3.9	0.86	0.99	1.26	0.78	142	0.787	0.539	0.693
18.7	0.89	1.04	1.32	0.818	146	0.766	0.504	0.728
53.6	1.21	1.35	1.71	1.062	151	0.877	0.587	0.945
80.0	1.51	1.63	2.07	1.283	152	1.022	0.711	1.141
110.0	1.87	1.94	2.47	1.527	151	1.232	0.913	1.358
160.0	2.28	2.31	2.93	1.818	148	1.566	1.214	1.617
211.9	2.57	2.59	3.29	2.038	150	1.669	1.298	1.813

##### 4.1 变比平衡系数 $K_p$

动作方程  $|U_{3s} + K_p U_{3n}| \geq K'' |U_{3n}|$  中  $K_p$  为变  
比平衡系数,是为适应机端 PT 变比为:

$$\frac{U_{gn}}{\sqrt{3}} / \frac{100}{\sqrt{3}} / \frac{100}{3}$$

而中性点 PT 或配电压器变比不为

$$\frac{U_{gn}}{\sqrt{3}} / 100$$

而设,  $U_{gn}$  为发电机额定线电压, 变比平衡

系数:  $K_p$  应等于 3 倍的中性点 PT 或配电压器变比  
除以机端 PT 开口三角变比,而并非是厂家技术说明  
书的:  $K_p$  等于 3 倍的机端 PT 开口三角变比除以中  
性点 PT 变比。在本例所讨论的发电机中

$$\text{机端 PT 变比为: } \frac{U_{gn}}{\sqrt{3}} / \frac{100}{\sqrt{3}} / \frac{100}{3}$$

$$\text{中性点侧配电压器变比: } U_{gn}/220$$

$$\text{则 } K_p = 3 \left( \frac{U_{gn}}{220} \right) / \left( \frac{U_{gn}}{\sqrt{3}} / \frac{100}{3} \right) = 0.787$$

而  $K_p$  误整定为 1.27 (为 1/3 倍机端 PT 开口三  
角变比除以中性点侧配电压器变比),使中性点  
侧  $U_{3n}$  的值扩大了 1.61 (1.27/0.787) 倍,从表 3 可  
以看出修正前所计算出的动作量较大,所需制动量  
也较大,保护的灵敏度较低,在机组的低负荷段  
( $P=3.9 \text{ MW}, 18.7 \text{ MW}$ ) 保护满足动作方程,虽然动作

电压未达到实际继电器的最小动作电压而保护未  
动作,但埋下了保护误动的隐患。若按  $K_p=0.787$  修  
正后,由表 3 可知:相应的动作量都较大幅度地下  
降了,可将  $K''$  适当减小,故保护的灵敏度得到了  
提高,还消除了机组在低负荷段保护误动的隐患。

##### 4.2 保护方案选择的讨论

保护的方程  $|U_{3s} + K_p U_{3n}| \geq K'' |U_{3n}|$  中  
没有考虑相位平衡,这对于发电机中性点不接地或  
经消弧线圈接地是合适的,因为此时的  $U_{3s}$  与  $U_{3n}$   
相角差很小或反接时相角差非常接近  $180^\circ$ ,无需进  
行相位补偿,简化了保护调试上的难度,但由于本例  
中的发电机中性点是经配电压器高阻接地的,使  
发电机在正常运行时,机端三次谐波等效总阻抗为  
容性,而中性点侧的为阻容性,这在原理上就使  $U_{3s}$   
与  $U_{3n}$  的相角差较大或反接时相角差与  $180^\circ$  相差  
较大,从表 3 可见,在本例中,  $U_{3s} \wedge U_{3n}$  在  $142^\circ \sim$   
 $152^\circ$  之间变动,动作方程中的动作量无相位平衡条  
件,致使机组正常运行时,保护的灵敏度大幅下降。

#### 5 结束语

a) 继电保护工作需要有较强的责任心,工作认  
真、仔细,否则将造成严重后果,如本例中,假设

(下转第 85 页 continued on page 85)

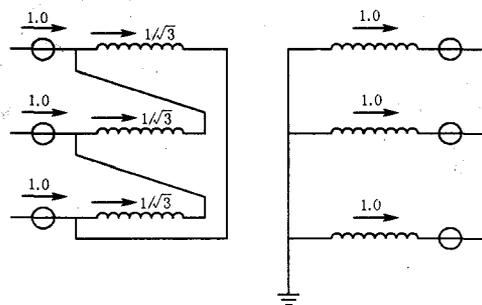


图6 变压器负序分量分析

Fig.6 Negative-sequence analysis of transformer

#### 4 灵敏度分析及解决措施

1) 通过 2、3 比较, 如果失灵启动的负序判据按照经验值取 0.2 倍的主变高压侧电流, 势必在 0.15 倍~0.2 倍之间的负荷电流期间运行时出现死区, 相应的负序电流势必非常低, 造成发变组启动失灵保护的负序判据不能启动。故障不能及时隔离, 并且此时已经超过发电机承受的负序能力 0.13 倍, 势必会造成发电机转子烧毁。

2) 如果在启停机过程中, 出现非全相情况, 通过上述式 (2) 和式 (3) 分析讨论, 此时, 负荷电流比较小, 此时按照《发电机运行规程》进行相应的操作, 保证发电机调速系统和励磁系统运行稳定不变, 控制发电机定子电流使其保证最小, 保证负

(上接第 79 页 continued from page 79)

发电机机端定子绕组发生金属性单相接地时, 2PT 开口三角输出的二次电压将达 100 V, 由于接线错误, 致使开口三角短路并接地, 这将造成基波零序电压定子接地保护拒动, 使故障进一步发展, 此外还可能造成 2PT 烧毁。

b) 认真落实继电保护有关规程中对集成型、微型保护的抗干扰的反措要求。

c) 必须注意变比平衡系数的确定, 否则造成测量的失真, 使保护灵敏度下降或误动作。

对于发电机中性点经配电变压器高阻接地时, 采用本例类似的三次谐波电压型定子接地保护的動作方程中, 不但要有幅值平衡条件, 还应考虑相位平衡。特别是要求该保护有较高灵敏度的情况下。

序电流在发电机允许运行范围内, 再寻求尽快隔离故障区, 如通过腾空母线断开母联开关等措施。

#### 5 结论

通过分析计算, 作为发变组保护不可少的失灵保护负序电流判据应依据保护设备要求, 应按照躲过发电机承受的负序能力整定, 并尽可能减少保护死区, 防止发电机转子烧毁。

#### 参考文献

- [1] DL/T684-1999, 大型发电机变压器继电保护整定计算导则 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2000.  
DL/T684-1999, Guide of Calculating of Relay Protection Large Generator and Transformer [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2000.
- [2] 刘万顺. 电力系统故障分析 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.  
LIU Wan-shun. Electric Power System Fault Analysis [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1998.

收稿日期: 2006-11-21

作者简介:

黄超 (1974-), 男, 大学本科, 工程师, 从事继电保护技术管理工作; E-mail: huangchao2348@163.com

赵皖豫 (1962-), 男, 大专, 从事电力调度工作。

#### 参考文献

- [1] 国家电力调度通信中心编. 电力系统继电保护规定汇编 [S].  
State Electricity Dispatching Center Series Compendium of Provides of Electric System Relay Protection [S].
- [2] 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用 [M]. 北京: 中国电力出版社.  
WANG Wei-jian. Principle and Application of Relay Protection of Main Electric Equipment [M]. Beijing: China Electric Power Press.

收稿日期: 2006-09-05; 修回日期: 2006-12-04

作者简介:

邓祖前 (1975-), 男, 助理工程师, 从事电厂继电保护的维护与检修工作。E-mail: dzqxdxwzjian@tom.com