

基于 PT 慢熔的发变组保护和自动装置特性分析及应对措施

杜小军

(大唐陕西发电有限公司渭河热电厂 710000)

摘要: 针对某电厂发电机 PT 一次熔断器慢熔时二次电压数据, 结合自身 300MW 机组发变组保护、多功能智能变送器及励磁调节器设备配置状况, 定量分析在发电机 PT 熔断器慢熔时的动作情况, 在现有设备状况下监测一次熔断器慢熔, 及时采取措施提高机组可靠性。

关键词: 慢熔; 发变组保护; 自动装置; 应对措施

1 引言

近年来发电厂电压互感器高压侧熔断器未在规定时间内完全熔断, 导致熔管电阻不断增加, 使得 PT 二次输出电压不断下降, 严重时导致过激磁、过电压和定子接地保护误动, 甚至发生励磁系统强励, 发电机、汽轮机过负荷, 严重时造成设备损坏。分析不同类型保护装置及自动装置的原理, 采取措施将慢熔造成的影响最小化。

2 系统配置简介

发电机电压互感器一般安装在发电机下部机房 6.3 米层, 由于现场的运行环境比较恶劣, 使熔丝在重力和热积累的作用下出现老化, 可能导致在正常的工作电流下发生断裂, 电压下降到一定程度时将引起相关保护误动作。经调研统计, 一般情况下相电压幅值下降 3~10V 时普通的保护装置的 PT 断线不能检测发现, 当相电压幅值下降 10V 及以上时可能会造成定子接地保护和匝间保护误动。

某电厂发电机共配置三组电压互感器, PT1 为匝间保护专用 PT, 同时接入多功能智能变送器第二路电压。PT2 接入多功能智能变送器第一路电压, 励磁调节器第一路电压, 发变组保护 A 柜, 故障录波器。PT3 接入励磁调节器第二路电压, 发变组保护 B 柜。发变组配置国产某厂家 1 或某厂家 2 的保护装置, 测量回路变送器配置国产某厂家 3 的多功能智能变送器, 励磁调节器配置国产某厂家 4 的励磁调节器。

3 异常数据分析

PT 慢熔导致 PT 电压异常的记录, A 相电压 48.7V, B 相电压 58.7V, C 相电压 58.7V, 其他 PT 两组二次电压正常, A 相电压 58.7V、B 相电压 58.7V、C 相电压为 58.7V, 三相电压相位正常。

根据对称分量法求得:

$$\text{正序电压 } U_1 = 1/3 (48.7 \angle 0^\circ + \alpha 58.7 \angle -120^\circ + \alpha^2 58.7 \angle 120^\circ) = 55.4 \angle 0^\circ \text{V}$$

$$\text{负序电压 } U_2 = 1/3 (48.7 \angle 0^\circ + \alpha^2 58.7 \angle -120^\circ + \alpha 58.7 \angle 120^\circ) = 3.33 \angle -180^\circ \text{V}$$

$$\text{零序电压 } 3U_0 = (48.7 \angle 0^\circ + 58.7 \angle -120^\circ + 58.7 \angle 120^\circ) = 10 \angle -180^\circ \text{V}$$

查阅保护装置采样, 正常运行工况下, 未发生异常电压互感器, 正序电压 $U_1=59.8\text{V}$, 最大负序电压 $U_2=0.089\text{V}$, 最大零序电压 $3U_0=0.05\text{V}$ 左右。

3.1 基波定子接地保护

某厂家 1 的 $3U_0$ 定子接地保护 PT 断线逻辑: 零序电压式定子接地保护输入取自机端 PT 开口三角形绕组时, PT 断线闭锁保护。PT 断线逻辑为: 负序电压 U_2 大于 10V。零序电压式定子接地保护同时输入取自机端 PT 开口三角形绕组和中性点零序电压时, PT 断线发信。机端 PT 断线逻辑为: 机端零序电压 $3U_{0m}$ 大于 $3U_{0m}$ 低定值, 中性点零序电压 $3U_{0n}$ 小于 $3U_{0n}$ 低定值, 经 10s 发信。 $3U_{0m}$ 和 $3U_{0n}$ 一般整定为 5~10V。

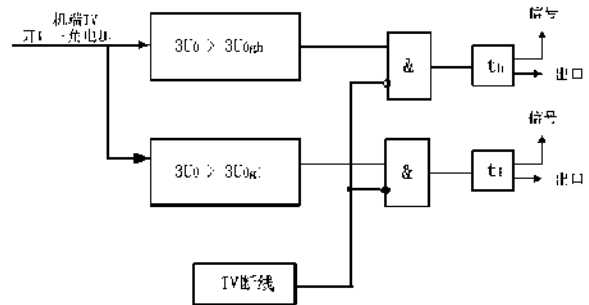


图 1.1 零序电压定子接地保护逻辑框图

Fig. 1.1 zero sequence voltage stator ground protection logic block diagram

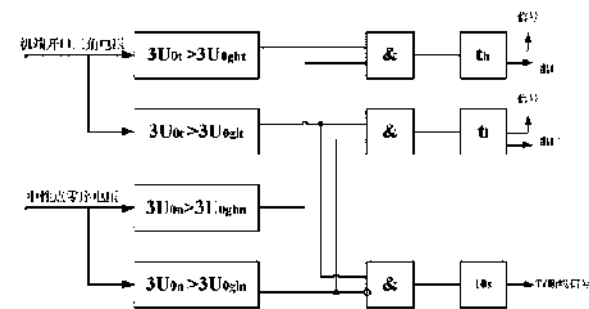


图 1.2 零序电压定子接地保护逻辑框图

Fig. 1.2 the logic block diagram of zero-sequence voltage stator grounding protection

某厂家 2 的 $3U_0$ 定子接地保护 PT 断线逻辑: 零序电压式定子接地保护取中性点零序电压为动作量, 经机端 PT1 开口三角形零序电压闭锁。

该异常状况下, 某厂家 1 的 $3U_0$ 定子接地保护采用机端 PT 开口三角形和 PT 断线原理保护, 采集的负序电压为 3.3V, PT 断线未达到定值负序电压 10V, 不能动作, 零序电压定值低于 10V 时保护会误动。PT 断线闭锁动作最小相电压压差 30V。采用机端和中性点零序电压逻辑的保护不会误动, PT 断线零序电压为 10V, 大于定值 5~10V, PT 断线会动作发信, PT 断线闭锁动作最小相电压压差 5V。

某厂家 2 的 $3U_0$ 定子接地保护采用中性点零序电压保护不会误动, 无 PT 断线告警功能。

3.2 三次谐波定子接地保护

某厂家 1 的 $3W$ 定子接地保护 PT 断线逻辑: 定子接地保护同时输入取自机端 PT 开口三角形绕组和中性点零序电压时, 动作判据采用矢量比较式, 机端 PT 断线闭锁保护。PT 断线逻辑为: 负序电压 U_2 大于 10V。

某厂家2的3W定子接地保护PT断线逻辑：定子接地保护同时输入取自机端PT开口三角形绕组和中性点零序电压，动作判据采用机端3W零序电压和中性点3W零序电压比值。机端PT断线闭锁保护。PT1断线逻辑为：PT2负序电压 $3U_2'$ 小于3V，PT1负序电压 $3U_2$ 大于8V，PT1自产零序电压 $3U_0$ 大于8V，PT1开口三角零序电压 $3U_{0\delta}$ 大于8V。满足以上条件时经小延时发PT1断线报警，并闭锁三次谐波电压比率定子接地保护。

3.3 匝间保护

某厂家1纵向零序电压匝间保护专用PT断线判别采用电压平衡式原理。

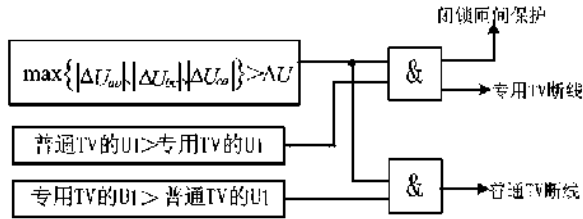


图2 电压平衡式PT断线逻辑框图

Fig. 2 logical block diagram of voltage-balanced PT disconnection

ΔU 为整定压差，整定为7~10V； ΔU_{ab} 、 ΔU_{bc} 、 ΔU_{ca} 为专用PT与普通PT二次同名相间电压之差； $\text{Max}\{|1\Delta U_{ab}|, |1\Delta U_{bc}|, |1\Delta U_{ca}|\}$ ——取 ΔU_{ab} 、 ΔU_{bc} 、 ΔU_{ca} 中的最大者； U_1 为PT正序电压。

判据二采集的线电压差为8.5V，PT断线会动作，PT断线动作最小相电压差7V，保护不会误动。

3.4 复合电压闭锁过流

某厂家1中低压闭锁过流保护PT断线逻辑：判据1：负序电压定值：相电压7V，线电压12.12V；负序电流定值：0.1I_N。判据2： U_{AB} 、 U_{CA} 线电压30V，三相电流低值0.04I_N，高值I_N。

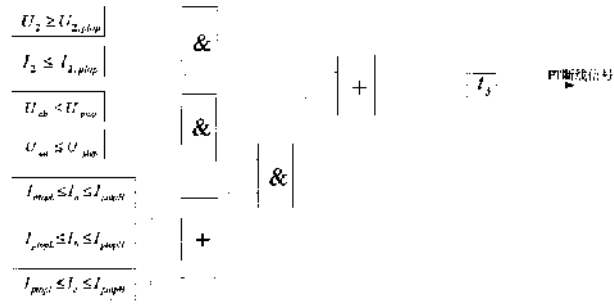


图3 低压闭锁过流保护PT断线逻辑框图

Fig. 3 logical block diagram of low-voltage blocking overcurrent protection PT breaking

某厂家2复合电压闭锁过流（主变接地、阻抗）各侧三相电压回路PT断线报警，动作判据：正序电压小于18V，且任一相电流大于0.04I_N。负序电压 $3U_2$ 大于8V。发电机端PT、主变高压侧PT满足任一条件，延时10s，发相应PT断线报警信号。

发电机端电压平衡功能， $I_{U_{ab}}-U_{ab}| > 5V$ 或 $I_{U_{bc}}-U_{bc}| > 5V$ 或 $I_{U_{ca}}-U_{ca}| > 5V$ ，且 $I|U_1-U_1'| > 3V$ 。满足以上任一条件延时0.42s发PT断线报警信号，同时启动PT切换。某一组PT断线时，失磁、失步、过电压、过励磁、逆功率、频率等相关保护不受影响。

在该异常状况下，某厂家1保护负序电压3.3V，PT断线不会动作，保护可能会误动，判据一：PT断线动作最小相电压差21V，判据二：

需要两相断线。

端电压平衡逻辑线电压差采集8.5V，正序压差3.4V，逻辑判据定值线电压差5V，正序压差3V，PT断线会动作，该逻辑PT断线动作最小相电压差8V。

3.5 失磁保护

某厂家1利用负序电压判据和低电压判据判三相电压不正常，利用负序电流判据和相电流判据判三相电流正常。如果电压不正常而电流正常，判为PT断线，瞬时闭锁保护，并经内部t₁（9秒）延时发信号警告；为了防止PT回路异常引起的电压波动，PT断线经内部t_{in}（4秒）延时解除闭锁。如果电压不正常且电流不正常，判为系统故障或异常运行状态。 $I_1=0.2I_N$ ， $I_b=1.0I_N$ ， $U_{PT1}=30.0V$ （线电压）， $U_{2g}=7.0V$ 。逻辑如下图

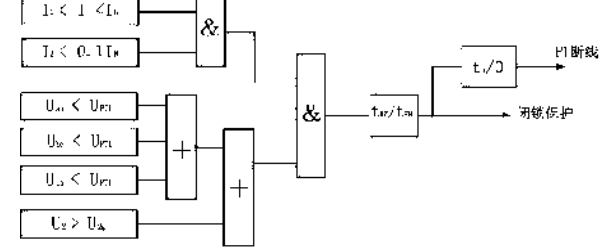


图4 失磁保护PT断线闭锁判据逻辑框图

Fig. 4 logic block diagram of PT break-line blocking criterion for loss-of-field protection

某厂家2同样采取各侧三相电压回路PT断线报警和发电机端电压平衡功能判据。

3.6 某励磁厂家PT断线

正常工况下PT断线：判据1：|PT2-PT1| > PT2电压差值，PT2一般整定为5V，动作时间0.06s。判据2：负序电压 > PTP负序电压阈值，PTP一般整定为5V，动作时间0.06s。判据3：发电机电压U_F电压 < 5%U_e，发电机电流I_F电压 < 120%I_e，励磁电流I_L > 空载额定值50%，短路试验使能、开机令、停机令、逆变令未出现，动作时间0.06s。

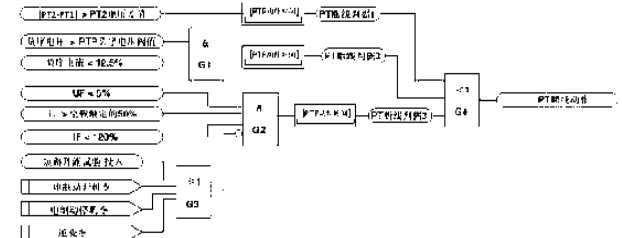


图5 励磁调节器PT断线闭锁判据逻辑框图

Fig. 5 logic block diagram of PT break-line blocking criterion of excitation regulator

励磁调节器单独配置PT慢熔检测单元，参数配置如下表：

表1.励磁调节器慢熔检测定值

Table 1. The measured values of the slow melting of the excitation regulator

| 投入PT慢熔判据使能 | 1 | 1 | | |
|---------------|---|---|---|--|
| 14 投入PT慢熔判据使能 | 1 | 1 | | |
| 15 负序判据电压最大点 | 5 | 5 | % | |
| 16 负序判据电压第2点 | 4 | 4 | % | |
| 17 负序判据电压第3点 | 3 | 3 | % | |
| 18 负序判据电压第4点 | 2 | 2 | % | |
| 19 负序判据电压最小点 | 1 | 1 | % | |

| | | | | | |
|----|-------------|------|------|---|--|
| 20 | 负序判据时间最小点 | 0.06 | 0.06 | S | |
| 21 | 负序判据时间第 2 点 | 0.4 | 0.4 | S | |
| 22 | 负序判据时间第 3 点 | 5 | 5 | S | |
| 23 | 负序判据时间第 4 点 | 10 | 10 | S | |
| 24 | 负序判据时间最大点 | 20 | 20 | S | |

在该异常状况下，某励磁厂家 4 励磁调节器 PT 断线判据一，采集的压差 10V，逻辑定值 5V，PT 断线会动作，经 0.06s 发信，PT 断线动作最小相电压差 5V。判据二采集的负序电压 3.4V，逻辑定值 5V，PT 断线不会动作。单独配置 PT 慢熔检测单元最小动作定值 1V，可以动作。

3.7 多功能智能变送器 PT 断线

PT 断线动作判据，判据 1：正序电压小于 20V，且机端任一相电流大于 5% I_n 。判据 2：负序电压大于 2.5V。逻辑图如下：

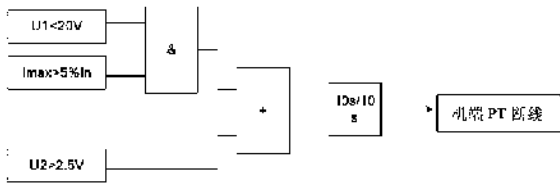


图 6 多功能智能变送器 PT 断线闭锁判据逻辑框图

Fig. 6 multi-functional intelligent transmitter PT broken-line blocking

Criterion Logic Block diagram

某厂家 3 配置三台多功能智能变送器，两路电压输入，分别接入第二组和第一组电压互感器电压，在该异常状况下，多功能智能变送器采集的负序电压为 3.3V，定值为 2.5V，PT 断线会动作，经 10s 发信。PT 断线动作最小相电压差 7.5V。

4 参数优化措施分析

电压互感器一次熔断器慢熔是一个持续的过程，相电压不断下降，对发变组保护、变送器测量和励磁调节器控制会造成不同的影响，通常电压降在 5V 以内继电保护装置 PT 断线不会动作，当压降超过 5V，不同的保护逻辑动作结果不同，可能会造成定子接地保护误动。

另一方面发变组保护 PT 断线的负序电压定值按照导则规定^[1]应躲过系统正常运行时出现的不平衡电压电压，不平衡电压电压可通过实测值确定。当无实测值时，如果装置采用的负序电压为相电压，负序电压为 (0.06~0.08) $U_n/1.732$ ，一般为 3.46~4.62V，如果装置采用的负序电压为线电压，负序电压为 (0.06~0.08) U_n ，一般为 6~8V。

配置的三台多功能智能变送器分别采集第一组匝间专用和第三组普通电压互感器二次电压，PT 断线可检测出二次相电压下降 7.5V 及以上的熔断器慢熔和断线，发出 PT 断线信号，第一组和第二组普通电压互感器可以得到监测，电压通道切换有其他定值。将电压回路接线修改为 1 号变送器接第一组和第二组电压互感器电压，2 号变送器接第二组和第三组电压互感器电压，3 号变送器接第三组和第一组电压互感器电压，三组电压互感器二次回路电压都可以得到监测。因多功能智能变送器的 PT 断线定值负序电压 2.5V，10s 仅发信号，定值优化降为 1V，动作时间躲过区外故障最长时间，取 20s，电压通道切换有其他逻辑定值，不会造成电压通道频繁切换。

5 电压互感器一次熔断器慢熔应对方法

一次熔断器慢熔是一个持续的缓慢过程，采用双路电压接入的多功能智能变送器和带有慢熔检测单元的励磁调节器后，当出现 PT 断线信号，运行人员检查各组电压互感器的二次电压情况，发现电压异常及时通知检修处理，造成接地保护误动和发电机励磁电压升高甚至误强励。

6 结语

针对慢熔对发变组保护和励磁调节器的影响，分析现有装置 PT 断线逻辑，提出了利用现有装置的功能和参数优化，判断高压侧熔断器“慢熔”，及时采用相应措施，解决了高压侧熔断器“慢熔”对发变组保护和励磁调节器的影响，保证机组的安全运行。

参考文献：

[1] 国家能源局. 大型发电机变压器继电保护整定计算导则 DLT 684-2012. 中华人民共和国行业标准, 2012 38