

发电机定子接地保护动作原因分析及故障处理

白 伟

(神华陕西国华锦界能源有限责任公司 陕西 榆林 719300)

摘 要: 介绍大型汽轮发电机 100% 定子接地保护基本原理和适用范围,着重分析双频式 100% 定子接地保护动作区域和保护判据。针对电厂 2 号机运行中出现的 100% 定子接地保护信号告警问题,结合发电机 100% 定子接地保护原理和故障处理原则,详细分析可能引起 3 次谐波电压比值远远超过整定值的故障原因。根据现场继电保护设备动作特性和测量数据,做出准确判断。经现场检查及故障处理后,2 号机中性点接地变压器二次引线锈蚀松动故障得到成功处理。

关键词: 大型汽轮发电机; 定子; 100% 接地保护; 3 次谐波

Abstract: The basic principle of 100% stator ground protection for large-scale turbine-generator is introduced as well as their application scope, and the focuses are mainly on the operation region and protection criterion of dual-frequency 100% stator ground protection. Combined with the 100% stator ground protection theory and the fault handling principle, the stator ground protection of No. 2 turbine-generator based on the third harmonic is analyzed, and the possibility problems of single-phase grounding fault are discussed. According to the operation characteristics and measuring data of relay protection equipment, an accurate judgment can be obtained and the fault location can be eliminated. After on-site inspection and fault handling, the corrosion and loosening fault of secondary leading-in of neutral-grounded transformer in No. 2 turbine-generator is processed successfully.

Key words: large-scale turbine-generator; stator; 100% stator ground protection; third harmonic

中图分类号: TM77 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2012)06-0043-03

0 序 言

发电机是电厂电网系统中尤为重要的电气设备,其运行安全可靠是电厂电网系统稳定经济运行的重要保障基础。伴随电厂单机容量的进一步增大,发电机定子绕组对地电容有所增加,相应定子单相接地电流也不断增大,一旦发电机定子发生单相接地故障,如保护动作不及时可靠,将威胁到定子铁心安全,严重时还会从定子单相接地故障演变成相间或匝间短路故障。另外,发电机定子结构和制造工艺变得更加复杂、铁心检修难度增大,电厂继电保护系统对发电机定子单相接地保护动作的实时性、可靠性、准确性等均提出更高的技术要求^[1],装设灵敏度高、可靠性强的 100% 定子接地保护,已成为大型汽轮机发电定子接地保护配置研究的重点。大量实践运行经验可知,发电机在运行过程中可能会由于定子冷却水管发生局部堵塞、法兰漏水、紧固端

子松动引起电位悬浮等,造成 3 次谐波电压比值超过定子接地保护整定值,引起 100% 定子保护动作^[2]。目前,大型汽轮发电机定子单相接地保护,通常设计装设双频式 100% 保护,即采用由基波零序电压保护和 3 次谐波电压保护构成的 100% 接地保护方案。100% 保护作为发电机定子接地保护的主保护,在运行过程中针对故障特性如何有效动作,确保发电机定子绕组及铁心的安全是非常重要的保护性能和功能任务。

1 100% 定子接地保护原理及配置

目前,大型汽轮发电机和水轮发电机所采用的 100% 定子接地保护原理判据有所差别,大型汽轮发电机主要采用双频式 100% 定子接地保护,而大型水轮发电机则主要采用外加电源(20 Hz 或其他低频电源)的注入式 100% 定子接地保护^[3-4]。汽轮发电机双频式 100% 定子接地保护主要由基波零序

电压元件和3次谐波电压元件共同组成。其中,基波零序电压元件主要完成保护发电机定子绕组的5%部位到机端100%部位的定子单相接地短路故障,其保护范围为95%,保护动作判据为 $U_{0.0p} \geq U_{0.set}$,保护动作整定值设有高整定值、低整定值及每段保护延时值,根据判断结果分别动作于信号或跳闸停机不同保护动作模式;基于3次谐波电压元件的定子接地保护,其主要保护原理是基于发电机正常运行过程中,定子感应生成的电动势中包含有2%~10%的3次谐波电势,当定子发生单相接地故障前后其发电机中性点与机端部位的3次谐波电压变化特性具有明显不相同特性,其保护动作区域为中性点部位到机端部位的25%处,其保护动作区域正好可以消除零序电压保护的盲区(或死区)。3次谐波电压差动保护判据方案的可靠性和灵敏度均较高,可以实现全绕组接地保护,其保护范围达到100%,有效提高定子接地保护动作可靠性。3次谐波电压差动保护主要动作于信号,但也可以根据用户功能需求结合现场运行工况动作于跳闸停机保护。发电机在正常运行时,其中性点部位的3次谐波电压 $|\dot{U}_{N3}|$ 要比机端部位3次谐波电压 $|\dot{U}_{S3}|$ 大,而当靠近中性点部位的定子绕组发生单相接地故障时 $|\dot{U}_{N3}|$ 要比 $|\dot{U}_{S3}|$ 小。为了简化分析,假定将发电机定子每相对地电容均等效集中到发电机机端S和中性点N处,即分别为 $\frac{1}{2}C_{0F}$;将发电机机端断路器引出线、升压变压器、电压互感器TV等外接电气元件的对地电容 C_{0W} 全部等效到发电机机端部位。如果发电机定子接地发生在A点,则发电机中性点和机端3次谐波电动势及对地电容等值简化电路^[5]如图1所示。

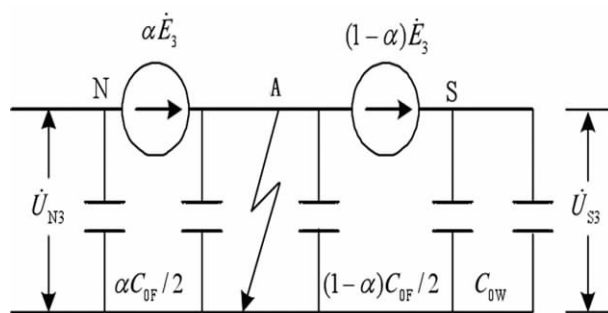


图1 定子单相接地时3相谐波电动势分布等值简化电路

图1中 α 为接地中性点到故障点处的绕组数占全部电压绕组匝数的百分数,相应机端到故障点

处的绕组所占百分数为 $(1-\alpha)$ 。由此,可以获得接地故障发生时中性点和机端3次谐波电压的近似关系,即

$$\begin{cases} \dot{U}_{N3} = \alpha \dot{E}_3 \\ \dot{U}_{S3} = (1-\alpha) \dot{E}_3 \end{cases} \quad (1)$$

从式(1)可知,当时 $\alpha \leq 50\%$ 时,满足 $|\dot{U}_{N3}| \geq |\dot{U}_{S3}|$,即接地故障点越接近中性点,其保护动作灵敏度越高。目前,3次谐波电压单相接地保护的判据包含两种^[6],其中常用的保护为 $|\dot{K}_p \dot{U}_{N3} - \dot{U}_{S3}| > K_b |\dot{U}_{N3}|$ ($\dot{K}_p$ 、 K_b 为相应调整系数)。此判据条件下,实质上减小接地保护动作量和制动量,具有较高的灵敏性,在汽轮发电机定子接地保护工程中发挥非常重要的作用。

2 定子接地保护动作原因分析

2.1 工程概况

某电厂装有4台汽轮发电机组,容量为300MW,双水内冷冷却方式;发电机与升压变压器采用单元接线;发电机中性点采用经配电变压器高阻接地方式。各发电机组均配置冗余微机保护装置,其中A、B两屏为电气量保护控制屏,按照双重化模式配置;C屏为非电量保护控制屏,采用双频式100%定子接地保护体系;发电机3次谐波定子接地保护动作于信号,其动作判据按照常用的 $|\dot{K}_p \dot{U}_{N3} - \dot{U}_{S3}| > K_b |\dot{U}_{N3}|$ 保护判据,其中 $\dot{K}_p$ 为变比平衡系数, K_b 为制动系数。

2.2 定子接地故障事件

2010年3月11日08时22分2号机C屏发出“定子接地”告警信号,突发“发电机定子接地”光子牌,同时检查发变组保护A、B屏,发现发电机“定子接地3次谐波”保护动作出口信号报警灯均处于“亮”状态。运行人员随即对发电机一、二次设备进行相关常规检查,未发现明显异常。为了避免发电机发生的接地故障是瞬时故障,且在一时未查出故障原因的前提下,决定让发电机继续带负荷运行,但要加强发电机机端、中性点等电气设备运行工况状态的监视,尤其加强对零序电压的监视。

在运行一段时间后,接地告警信号依然存在,故

障并未消除,于是可以判断发电机发生的定子接地故障不是瞬时故障。继电保护人员按照相关技术规范要求,分别对4台机组的机端零序电压(含3次谐波)、中性点开口电压等特性值进行测量,获得对应的测量数据结果如表1所示。

表1 4台发电机机端、中性点零序电压测量数据

机组号	机端零序 基波电压/V	机端零序3次 谐波电压/V	中性点开口3次 谐波电压/V
1	0.30	1.76	3.06
2	0.53	1.91	0.12
3	0.34	1.88	3.11
4	0.32	1.84	3.09

从表1可以看出2号机的机端零序基波电压、中性点开口3次谐波电压与1、3、4号机间有很大差异,而机端零序3次谐波电压则相差不大。继电保护人员随后用高压验电笔测量发电机中性点接地变压器(其变比为20/0.23 kV)引出线部位带电,显示值为699 V,即可以推算出其二次电压大约为3 V。因此,初步认为2号机发电机中性点接地变压器或接地电阻存在故障隐患。

2.3 故障现象分析

从图1可知,不论发电机中性点是否经消弧线圈接地,当距发电机中性点绕组所占百分比为 α 的A点处发生定子绕组单相接地故障时,按照式(1)发电机中性点N与机端S处的3次谐波电压值为

$$U_{N3} = \alpha E_3, U_{S3} = (1 - \alpha) E_3 \quad (2)$$

式(2)的逻辑关系,详见图2所示。

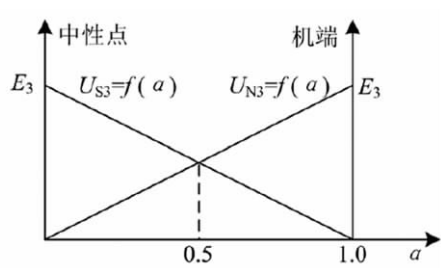


图2 3次谐波电压值 U_{N3} 、 U_{S3} 随 α 的变化关系

图2中,选用 U_{S3} 作为接地保护动作量; U_{N3} 作为接地保护制动量,由基波零序电压元件和3次谐波电压元件共同组成双频式100%定子接地保护,即当发电机中性点附件发生接地故障时,3次谐波保护判据具有较高的灵敏度和可靠性,动作于接地告警信号。该发电厂4台发电机组中性点均经配电变压器接地,并网前进行发电机空载调速试验和并网后测得发电机3次谐波 U_{S3}/U_{N3} 的比值范围为0.55~0.76,在整定值设定过程中,参考厂家提出的1.2

倍可靠系数进行整定调试,保护动作定值整定为0.9。发电机并网投运后,其3次谐波 U_{S3}/U_{N3} 的比值也基本在0.55~0.76范围内波动。本例中2号机发生定子接地告警信号时,各机组的3次谐波电压比值:1号机为0.575;2号机为15.92;3号机为0.605;4号机为0.595,可以看出1、3、4号机的3次谐波电压比值均满足整定要求,2号机3次谐波比值远远超过保护动作整定值,发生定子接地保护告警信号,证明2号机继电保护装置动作的可靠性和准确性,排除继电保护装置“误动”问题。

2.4 故障查找

继电保护人员在断开中性点接地变压器隔离刀闸,确认定子接地3次谐波保护压板安全退出,并做好相应的安全隔离措施后,发出《2号机发电机中性点接地变压器及回路检查》操作票。经外观检查未发现接地变压器及并联电阻存在明显异常问题,进一步检查发现2号机接地变压器的二次线与接地电子连接部位的固定接头部位存在严重锈蚀问题,在确认中性点接地变压器及并联电阻不存在其他故障问题后,确定该点为此次故障点。本例中,虽然发电机中性点未发生直接接地故障,但由于中性点接地变压器的二次引出线存在锈蚀松动问题,导致接地保护制动电压 U_{N3} 发生悬浮,在机端接地保护动作电压 U_{S3} 没有较大波动的条件下,导致3次谐波电压比值大大超过100%定子接地保护动作整定值,而引起发电机定子接地3次谐波保护动作告警。

3 定子接地故障处理

检查确认2号机中性点接地变压器及并联电阻不存在其他安全隐患和故障后,决定对接地变压器二次引线到接地电阻的连接部位锈蚀隐患进行处理。将二次引线锈蚀部位进行切断处理,根据锈蚀切断部位的长度重新制作导线接线鼻,并按相关要求严格对导线和线鼻子进行打磨整形处理;由现场继电保护质量监督人员校核装配尺寸合格后,紧固连接螺栓;按照2号机接地变压器二次端子接线连接好二次引线,待测试含全部二次接头在内的所有低压绕组直流电阻均符合规范要求,且三相直流电阻处于平衡状态后,进行二次引线绝缘包扎。引线故障彻底处理完毕,待所有条件满足投运要求后,将

(下转第90页)

②投粉后随着炉膛温度的升高,燃烧逐渐改善,飞灰可燃物逐渐降低,在单台磨投运外加4支大油枪的情况下飞灰可燃物最低可降至26%,部分煤粉已被有效点燃。

③采用大油枪配合微油枪启动方式,2号炉在两次冷态启动过程中油耗明显降低,与1号炉不采用微油点火相比,平均节油率为36.2%。

参考文献

[1] 赵铁军,宋绍伟. W型火焰锅炉节油技术应用[J].

中国电力 2009 42(9): 61-65.

[2] 束长勇. 微油点火稳燃技术在600 MW机组中的应用[J]. 电力设备 2008 9(10): 74-76.

[3] 车丹,林树彪. 微油点火在燃用贫煤锅炉上的试验研究[J]. 山西电力 2009(3): 39-41.

[4] 付忠广,王志鹏,史亮亮. 燃煤锅炉微油点火燃烧器的数值计算分析[J]. 工程热物理学报 2008 29(4): 609-612.

(收稿日期:2012-05-22)

(上接第45页)

接地变压器并网投运,检修后测量中性点开口3次谐波电压从故障前0.12 V上升到3.08 V,3次谐波电压比值也由故障前15.92降低到0.586,与出厂值没有明显电气特征变化,同时发变组A、B屏“定子接地3次谐波告警信号”解除,C屏“定子接地”告警信号解除,2号机运行参数正常,说明2号机中性点接地变压器二次引线锈蚀松动故障得到成功处理。

4 结 语

发电机定子接地故障发生在中性点附近时,其故障电流的3次谐波分量和3次谐波电压比值将非常大,远远超过接地保护动作整定值,这一点继电保护人员在实际检修维护过程中必须引起足够重视。为了提高继电保护人员故障处理效率和可靠性,除了要熟悉定子接地故障参数特征知识,根据现场故障信号和保护动作情况,灵活采取各种处理方案外,还需注重以下多个方面的内容^[7-8]。

①继电保护工作除了需要扎实理论知识外,还需要有较强的责任心和耐心,工作认真仔细,否则将会引起故障进一步扩大成事故;

②认真落实电厂继电保护关于集成型、微机型继电保护装置的调试、整定、抗干扰等技术措施,确保继电保护装置具有较高动作保护性能,避免其出现“拒动”、“误动”等问题;

③定期检修维护工作中,要牢记定期试验、检定的三要素,即:测绝缘、清灰、紧固端子等。本例中就

是由于接地变压器紧固端子发生锈蚀松动,引起电位的悬浮而引起100%定子接地保护故障告警。要加强一次、二次设备巡检力度,尤其应注重观察运行记录和运算分析各机组处于不同运行工况条件下特征参数的变化特性,一旦发现异常应及时采取有效方法措施予以消除。

参考文献

[1] 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 2002.

[2] GB/T 14285-2006 继电保护和安全自动装置技术规程[S].

[3] 张琦雪,陈佳胜,陈俊,等. 大型发电机注入式定子接地保护判据的改进[J]. 电力系统自动化 2008 32(03): 66-69.

[4] 姚晴林,赵斌,郭宝甫,等. 自适应20 Hz电源注入式定子接地保护[J]. 电力系统自动化 2008 32(18): 71-73.

[5] 张长彦,原爱芳,杨兆阳,等. 发电机定子绕组接地保护整定原则[J]. 电力系统保护与控制 2009 37(17): 65-70.

[6] 王翔,张成,沈全荣. 一次典型的定子接地故障分析与优化保护原理[J]. 电力系统自动化 2006 30(11): 52-55.

[7] 毕大强,王祥珩,王维俭,等. 发电机中性点接地装置等效电路的分析[J]. 继电器 2003 31(1): 12-16.

[8] 徐金兵,楼国才. 发电机100%定子接地保护误动作分析[J]. 中国电力 2007 40(5): 67-70.

作者简介:

白伟,(1985),男,汉,助理工程师,继电保护检修工。

(收稿日期:2012-07-09)