

变压器过励磁保护的测量点分析

姚 旭¹, 何世恩², 沈利平³

(1. 甘肃电力调度通信中心, 甘肃 兰州 730050;

2. 甘肃省电力公司 风电技术中心, 甘肃 兰州 730050;

3. 甘肃省电力公司 刘家峡水电厂, 甘肃 永靖 731600)

摘要: 变压器过励磁保护判据推导过程中变压器绕组实际匝数(W)等于额定匝数(W_N)这一重要假设, 是变压器过励磁保护测量点选择时应注意的。变电站主变压器过励磁保护测量点不应选择在主变调压侧, 发电厂升压变压器应选择在低压侧; 否则就不能正确反映变压器的过励磁状况, 有可能引起过励磁保护拒动或误动。同时变压器过励磁保护测量点的选取, 应考虑正常检修和故障时, 尽量不影响其对变压器励磁状况的判断。对一个 330 kV 变电站在其联络线路故障和恢复送电过程中、在其 330 kV 侧电压互感器(TV)转检修操作过程中主变过励磁保护的動作行为, 及一个发电厂的发变组在启动过程中由于操作失误引起主变过励磁时的保护動作行为进行分析, 提出了主变过励磁保护测量点的改进方案。

关键词: 变压器; 过励磁保护; 测量点; 变电站; 有载调压; 无载调压

中图分类号: TM 403.5

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2010)09-0138-05

随着电力系统电压等级的升高及变压器容量的增大, 变压器过励磁这种异常运行状态对变压器的影响也越来越严重。因此变压器过励磁保护在超高压、大容量变压器上得到普遍的应用, 并对变压器起到了良好的保护作用。然而在应用中发现, 过励磁保护电压测量点的选择问题没有引起电力系统生产运行、设计、制造等部门的重视。这对保证过励磁保护的正确動作极为不利, 因此有必要对这个问题进行分析和讨论。

1 过励磁保护的判据及应注意的假设

过励磁保护无论为定时限保护还是反时限保护, 都是依下述原理为判据来判断变压器是否过励磁的^[1-2]:

$$B = \frac{U}{4.44 WSf}$$

其中, B 为铁心的工作磁通密度; S 为变压器铁心截面; W 为变压器绕组匝数; f 为频率; U 为变压器感应电压。

令 $K = 1 / (4.44 WS)$, 则 $B = KU / f$ 。

对一台变压器, 因绕组匝数和铁心截面为常数, 故 K 为常数。

过励磁倍数用工作磁通密度 B 与额定磁通密度 B_N 的比值表示:

$$n = \frac{B}{B_N} = \frac{KU / f}{K_N U_N / f_N}$$

由于 $K = K_N$, 则 $n = \frac{U / U_N}{f / f_N} = \frac{U^*}{f^*}$ 。

其中, n 为过励磁倍数; U_N 为额定电压; f_N 为额定频率; U^* 为电压标么值; f^* 为频率标么值。

过励磁保护通过测量 U^* 与 f^* 的比值, 来判断变压器过励磁的程度。

在以上推导中应注意到 $K = K_N$, 即 W 为常数、 $W = W_N$ 。这个假设正是选择电压测量点时应重视的问题。

2 过励磁保护电压测量点的选择

2.1 变电站主变压器^[3-6]

变压器的调压方式有 2 种: 一种为无载调压, 调整范围通常在 $\pm 5\%$ 以内; 另一种为有载调压, 调整范围可达 30% 。

若调压范围为 $\pm 10\%$, 则

$$W = W_N \pm W_N \times 10\%$$

即调压侧绕组匝数在 $\pm 10\%$ 范围内变化。若过励磁保护取自变压器调压侧电压, 保护定值一般按额定电压抽头整定, 不可能随变压器抽头的变化而经常改变。

当变压器调压开关调节到 $+x\%$ 时, 若此时系统频率为额定频率, 调压侧电压为 $U_N(1+x\%)$, 则

$$B = \frac{U_N(1+x\%)}{4.44 W_N(1+x\%)f_N} = \frac{U_N}{4.44 S W_N f_N} = B_N$$

$$n = B / B_N = 1$$

即变压器未过励磁, 但过励磁保护测到的却是:

$$n = \frac{U_N(1+x\%) / U_N}{f_N / f_N} = 1+x\%$$

若 $x=10$, 则变压器过励磁 10% 。

当变压器调压开关调节到 $-x\%$ 时, 若系统频率为额定频率, 调压侧电压为额定电压, 则

$$B = \frac{U_N}{4.44 S W_N (1 - x \%) f_N}$$

$$n = \frac{B}{B_N} = \frac{U_N / [4.44 SW_N (1 - x \%) f_N]}{U_N / (4.44 SW_N f_N)} = \frac{1}{1 - x \%} > 1$$

若 $x=10$, 则变压器过励磁 11.1 %; 但过励磁保护测到的却是.

$$n = \frac{U_N / U_N}{f_N / f_N} = 1$$

即变压器未过励磁。

从以上分析看出,过励磁保护若测量变压器调压侧电压互感器(TV)二次电压,不能正确反映变压器的励磁状况(除非抽头一直在额定位置),可能引起过励磁保护拒动或误动,因此过励磁保护测量电压不应取变压器调压侧 TV 二次电压。另外,在选择测量点时,还应考虑正常检修和故障时不易与变压器断开的 TV 作为过励磁保护的测量点,从而保证过励磁保护的投入率并在系统发生故障后能够准确地反映变压器的励磁情况。

2.2 发电厂升压变压器^[7]

发电厂升压变压器过励磁的原因主要有下述 4 种。

- a.** 发电机变压器组在与系统并列之前,由于操作上的失误,误加了较大的励磁电流。
- b.** 发电机启动过程中,转子在低转速下预热时由于操作失误,误将发电机电压上升到额定值,使变压器因低频而过励磁。
- c.** 在切除机组的过程中,主汽门关闭、出口断路器断开,而灭磁开关拒动,此时原动机减速,自动调节励磁装置力求保持机端电压等于额定值,从而使变压器因低频而过励磁。
- d.** 线路断路器跳闸或发电机变压器出口断路器跳闸后,若自动调整励磁装置失灵或已退出运行,则电压迅速升高,频率也升高但比较缓慢,从而使比值 U/f 上升,引起变压器过励磁。

以上 4 种情况都发生在升压变压器未与系统并列的情况下。

若过励磁保护测量主变高压侧电压,在上述 4 种情况下,母线与主变是断开的,母线 TV 上测得的电压与频率关系不能够反映升压变的励磁状况,且升压变压器的调压开关一般都在高压侧,因此发电厂升压变压器过励磁保护测量变压器高压侧母线电压是不合理的。对于发电厂升压变,过励磁保护测量变压器低压侧(即发电机出口)电压,这样才能准确反映升压变的励磁状况,同时在发电机出口还可兼做发电机的过励磁保护。

3 案例分析^[8-10]

3.1 案例 1

3.1.1 一次系统简况

A 站主变型号为 OSFPSZ-150 000/330、(345-10×1.25%)~(345+6×1.25%)/121/11。A、B 两变电站经约 382 km 330 kV 线路联接,两侧均有电源,

线路两侧接有高压并联电抗器,如图 1 所示。由于 A、B 两变电站经一条线路联接,且 A 站只有一台主变,所以 A 站为线路变压器组接线,如图 2 所示。

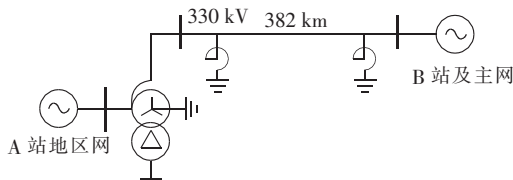


图 1 系统示意图

Fig.1 Schematic diagram of system

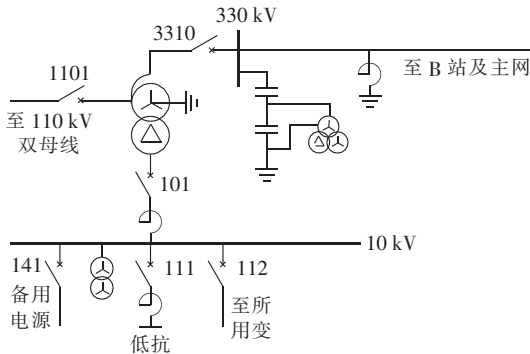


图 2 变电站 A 接线图

Fig.2 Connection diagram of substation A

3.1.2 存在的问题

A 站 330 kV 主变配有反时限和定时限过励磁保护,过励磁保护测量电压取自 330 kV 线路 TV。经运行经验和分析,过励磁保护输入电压取自 330 kV 侧存在 4 个问题。

- a.** 从前面的分析可知,过励磁保护测量电压取自有载调压变压器的调压侧电压,不能够准确反映变压器的励磁状况。特别是由于该主变 330 kV 侧有载调压的负抽头可达 -12.5% ,若有载调压开关调至此抽头,330 kV 侧电压为 345 kV,系统频率为 50 Hz,则变压器过励磁达 14.3% ;而过励磁保护仍判定为变压器运行在额定励磁状态。这显然影响了过励磁保护对变压器励磁状态的测量。
- b.** 长达 382 km 的线路故障率较高。由于 A 站 330 kV 侧是线路变压器组接线,当线路故障时,A 站 330 kV 开关跳闸,B 站侧重合成功,330 kV 线路 TV 与主变断开,此时过励磁保护测到的不是变压器电压而是线路电压,由于线路较长,且两端的并联电抗器补偿有一定缺额,因此线路 TV 上有较高电压。曾发生过线路故障跳闸、对侧重合成功后,紧接着由于电压升高,过励磁保护动作,将主变 110 kV 侧及 10 kV 侧开关跳开的情况。这样跳闸有以下问题:对于瞬时性故障,线路保护动作跳闸后本可以重合成功,但由于主变保护动作,造成 A、B 站解列;主变保护与线路保护几乎同时动作,影响了运行人员对故障性质的判断,不利于事故处理;若 10 kV 所用备用电源由于检修等原因脱离备用,则会造成所用电失去。
- c.** 线路恢复送电时,从 B 站侧向线路充电,此时

A 站侧过励磁保护测到的并非主变电压,在 A 站侧并列前由于线路较长,且两端的并联电抗器补偿有一定缺额,因此线路 TV 上有较高电压,有可能发生过励磁保护误动作,造成无法并列,只能退出过励磁保护后进行并列操作。这不仅延误系统并列操作,还使操作期间主变无过励磁保护运行。

d. 若 330 kV 开关跳闸前,系统向 A 站地区电网送较大有功负荷,跳闸后 A 站地区电网频率会急剧下降,由于发电厂强励动作,使当地系统电压变化不大,这时主变有可能过励磁,应将主变 110 kV 侧开关跳开,而此时过励磁保护测到的是 330 kV 线路电压,不一定能够出口跳闸,使过励磁保护拒动。

3.1.3 改进方案

a. 将过励磁保护测量电压改至 10 kV 侧。这样改进后虽解决了前述问题,但在 10 kV 侧开关或 TV 检修由备用电源供电、主变仍要运行时,过励磁保护就会失去作用。

b. 将过励磁保护测量电压改至 110 kV 侧,这样改进后能够解决前述问题,只有在 110 kV 母线故障或线路故障开关拒动引起主变 110 kV 侧开关跳闸时,才会影响过励磁保护的動作行为,而这类故障比 330 kV 线路的故障率要低得多。因此 A 站 330 kV 变压器主变过励磁保护取 110 kV 侧母线 TV 二次电压较为合理。

3.2 案例 2

3.2.1 一次系统简况

发电厂发电机型号为 QFQS-100-2,主变型号为 SFP-120000/220、 $242 \pm 2 \times 2.5\% / 10.5$,发电厂 220 kV 为双母线接线,发电厂经双回 220 kV 线路与系统联接,如图 3 所示。

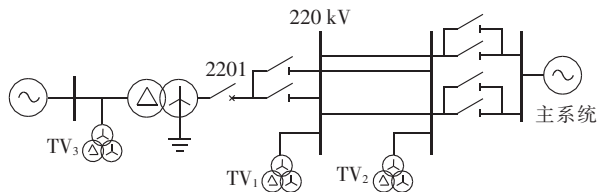


图 3 发电厂与系统接线图

Fig.3 Connection diagram of power plant to system

3.2.2 存在的问题

主变配有反时限和定时限过励磁保护,过励磁保护测量电压取自 220 kV 母线 TV。

a. 故障过程:发电机按计划停机,此时状态为发电机出力调零,厂用电已由备高变带,自动调压器运行。电气操作人员断开 2201 开关,发变组与系统解列,检查发电机三相定子电流到零。值长下令汽机打闸,此时发电机定子电压为额定未减励磁,电气操作人员继续操作降跟踪电压时,发现发电机三相定子电流开始有指示,伴随有主变、厂高变强烈的电磁噪声。此时运行人员发现自动调压器未按规定退出,立即操作退出自动调压器,并断开灭磁开关,随

即主变和厂高变电磁噪声消失。

b. 原因分析:当断开 2201 开关、发电机与系统解列后,发电机、主变、厂高变自成一个独立的系统,它的周期随着发电机的转速变化,未减励磁前因自动调压器运行,发电机电压基本保持不变。当汽机打闸转速下降后,发电机、主变、厂高变系统的周期随之下降而主变、厂高变一次侧的电压不变, U^*/f^* 随频率的下降而上升,造成主变、厂高变过励磁。由于主变过励磁保护测量电压取自 220 kV 母线 TV,此时 2201 开关已断开,主变过励磁保护测量的是系统电压和频率,所以未动作出口。虽经检查、试验,主变、厂高变均无异常,但由于过励磁在变压器中产生的过热等经多次积累会影响变压器的使用寿命^[11-12]。

3.2.3 改进方案

过励磁保护测量电压改取变压器低压侧 TV 二次电压,这样无论发变组是否与系统并列,均能正确反映主变和备高变的过励磁状况。

3.3 案例 3

3.3.1 一次系统简况

某 330 kV 变电站,330 kV 为 3/2 接线,110 kV 为双母线,330 kV 母线设三相 TV,主变 330 kV 侧未设 TV,主变型号为 OSFPSZ-240000/330、 $345 \pm 8 \times 1.25\% / 121/35$,如图 4 所示。

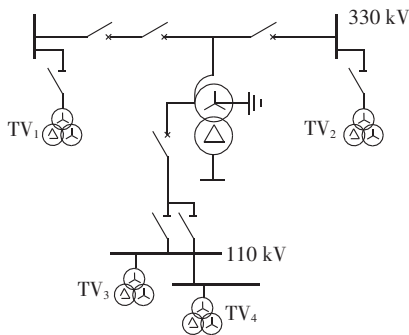


图 4 330 kV 变电站接线图

Fig.4 Connection diagram of 330 kV substation

3.3.2 存在的问题

该变电站 330 kV 主变配有反时限和定时限过励磁保护,过励磁保护测量电压取自 330 kV 母线 TV。

a. 故障过程:330 kV TV₁ 撤运预试,运行人员首先合上 TV 二次并列开关,接着操作第 1 项拉开 TV₁ 一次侧 A 相刀闸后约 5.5 s 该站 1 号主变过励磁保护误动,1 号主变三侧开关跳闸。

b. 原因分析:对 TV₁ 一次侧刀闸进行操作过程中,当拉开 TV₁ 一次侧 A 相刀闸时,造成 TV₁ 一次电压不对称,从而在 TV₁ 开口三角形绕组上出现电压 ($U_B + U_C = -U_A$)。由于 330 kV TV₁、TV₂ 开口三角形绕组经过 TV 二次并列开关和 TV₁、TV₁ 的 C 相刀闸辅助接点控制并列和切换(见图 5),此时 TV₁ 的 C 相刀闸尚未拉开,TV 二次并列开关和 TV₁、TV₁ 的 C 相刀闸辅助接点均在合位,故前述不对称电压施加在 2

个TV三次构成的闭环回路上,该电压通过磁耦合传递给TV二次各绕组,引起二次过电压,使过励磁保护误动作。

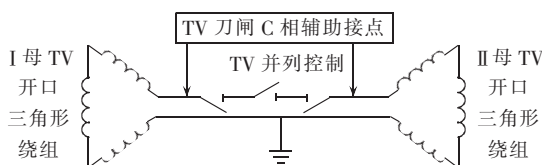


图5 电压并列示意图

Fig.5 Schematic diagram of voltage paralleling

3.3.3 改进方案

目前,在上述情况下防止主变过励磁保护误动的措施是在操作TV一次刀闸时退出主变过励磁保护,但这样做存在安全风险,属不得已而为之。从案例1分析看出,该变电站主变有载调压在330 kV侧,将主变过励磁保护测量点改接到110 kV侧,能够正确反映主变的过励磁状况。同时由于110 kV侧TV一次刀闸为三相操作机构,虽然TV三次并列和切换回路与图5基本相同,但在操作TV一次刀闸时只会瞬间出现不对称电压,而过励磁保护为延时动作保护,因此不会误动作^[13-16]。

4 结论

由以上分析可得如下结论:

- a. 变压器过励磁保护的测量点不应取自变压器调压侧;
- b. 变压器过励磁保护的测量点的选取,应考虑正常检修和故障时,尽量不影响其对变压器励磁状况的判断;
- c. 发变组升压变压器过励磁保护应取变压器低压侧(即发电机出口)TV二次电压;
- d. 案例1和案例3中,330 kV变压器主变过励磁保护应取110 kV母线TV二次电压;案例2中,主变过励磁保护应取主变低压侧TV二次电压。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家经济贸易委员会. DL/T 684-1999 大型发电机变压器继电保护整定计算导则[S]. 北京:中国电力出版社, 2000.
- [2] 王维俭,侯炳鑫. 电气主设备继电保护原理与应用[M]. 北京:中国电力出版社,1996:355-366.
- [3] 易小平,万伟亮. 变压器差动保护与过励磁保护配合问题的探讨[J]. 江西电力,2005,29(3):47-48.
- [4] 杨彪,董建达,金乃正. 国外500 kV变压器过励磁保护的探讨[J]. 继电器,2004,32(13):71-73.
- [5] 徐萍,卢政伟,曲文奇,等. 大型变压器过励磁微机继电保护的应用[J]. 冶金动力,2008(2):4-6.
- [6] 徐平,卢 Zhengwei, QU Wenqi, et al. Application of over-excitation computer relaying protection of large transformer[J].

- Metallurgical Power, 2008(2):4-6.
- [6] 袁鹏,贺智,宋述波. 贵广直流工程换流变压器的过励磁保护[J]. 高电压技术,2006,32(9):163-164.
- [7] 张侃君,尹项根,朱红莉,等. 发电机-变压器组过励磁保护若干问题的研究[J]. 电力系统自动化,2008,32(21):56-60.
- [8] 王继平,王阳. 浅析500 kV 获嘉变电站主变压器过励磁保护[J]. 河南电力,2010(1):9-11.
- [9] 李清波. 汕头500 kV 变电站主变过励磁保护配置及运行管理[J]. 电力自动化设备,2001,21(1):54-56.
- [10] 聂宇本. 华东电网500 kV 联络变压器过励磁保护运行情况分析[J]. 电力设备,2001,2(1):48-51.
- [11] 赵晓明,余志慧. RET670 主变过励磁保护逻辑缺陷分析及改进[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(4):124-129.
- [12] 李火元. 过励磁引起比率制动式变压器差动保护“误动作”分析[J]. 继电器,2000,28(3):26-28.
- [13] 周春雨,刘振,余芳,等. CVT 一次隔离开关操作对变压器过励磁保护影响的研究[J]. 高压电器,2009,45(5):112-118.
- [14] 李筱仙,杨海东,刘明明. 变压器过励磁保护误动故障分析[J]. 电工技术,2009(12):57-58.
- [15] 孙金凤,王国光. 变压器过励磁保护误动作的探讨[J]. 陕西电力,2008,36(2):64-68.
- [16] 黄莹,崔静安. 从几次误操作谈变压器过励磁保护原理的改进[J]. 继电器,2004,32(6):55-59.
- [17] 黄莹,崔静安. Improvement on transformer over-excitation protection by studying several incorrect operation accidents of substation[J]. Relay,2004,32(6):55-59.

(实习编辑:李莉)

作者简介:

姚旭(1960-),男,甘肃天水人,高级工程师,从事电力系统继电保护和安全自动装置工作(E-mail: yxjdbb@163.com);

何世恩(1961-),男,甘肃临夏人,高级工程师,从事电力系统继电保护和安全自动装置工作;

沈利平(1968-),男,甘肃镇远人,高级工程师,从事发电厂继电保护和安全自动装置工作。

Analysis of measuring point for transformer over-excitation protection

YAO Xu¹, HE Shien², SHEN Liping³

(1. Gansu Electric Power Dispatching and Communication Center, Lanzhou 730050, China;

2. Wind Power Center of Gansu Electric Power Corporation, Lanzhou 730050, China;

3. Liujiaxia Hydropower Station of Gansu Electric Power Corporation, Yongjing 731600, China)

Abstract: During the selection of measuring point for transformer over-excitation protection, the assumption of the actual turn number of transformer windings (W) being equal to the rated turn number (W_N) for the derivation of its criterion should be noticed. For the main transformer of substation, it should not be at its voltage regulation side and for the step-up transformer of power plant, it should be at its low voltage side, otherwise the transformer over-excitation can not be correctly reflected, resulting in the improper protection operations. Meanwhile, the selection of measuring point should not affect the judgment of transformer excitation conditions during normal maintenance and fault detection. The behavior of the main transformer over-excitation protection of a 330 kV substation during the tie-line fault and power supply restoration and during the maintenance of PT at 330 kV side is analyzed. The behavior of the main transformer over-excitation protection of a power plant generator-transformer set during startup is also analyzed. Improved schemes of main transformer over-excitation protection for power plant and substation are proposed.

Key words: transformer; over-excitation protection; measuring point; substation; on-load voltage regulation; no-load voltage regulation