

高阻抗变压器后备保护的研究

黄曙¹, 邓茂军², 张鹏远³

(1. 中国南方电网“电网自动化实验室”, 广东 广州 510600; 2. 许继电气公司技术中心, 河南 许昌 461000;
3. 许继日立公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 目前高阻抗变压器采用的高压侧过流保护在低压侧区内故障时灵敏度不足, 无法满足主电源侧的变压器相间短路后备保护主要作为变压器内部故障的后备保护的要求。在分析了高阻抗变压器内部构造的基础上, 提出了一种新的变压器保护方案, 即采用低压侧复压和电流保护, 不仅可以提高高阻抗变压器低压侧内部相间故障的灵敏度, 而且在低压侧外部故障低压侧 CT 严重饱和时仍然可以对变压器进行保护。这种方案在微机变压器保护装置中简单易行, 可提高高阻抗变压器保护装置的灵敏性和可靠性。

关键词: 高阻抗变压器; 后备保护; 灵敏度; 复压和电流

Study of high-impedance transformer backup protection

HUANG Shu¹, DENG Mao-jun², ZHANG Peng-yuan²

(1. Key Lab of Power Grid Automation of China Southern Power Grid Corporation, Guangzhou 510600, China;
2. Technology Center, XJ Electrical Company, Xuchang 461000, China; 3. XJ Hitachi, Ltd, Xuchang 461000, China)

Abstract: Present HV side overcurrent protection adopted by high impedance transformers shows insufficient sensitivity in LV side inner fault, which can not meet the requirement of backup protection against transformer interphase short-circuit of the main power side for mainly being the back-up protection against transformer internal fault. Based on the analysis of the internal structure of high-impedance transformer, a new transformer protection is proposed, that is using the LV side compound voltage sum-current protection, which can not only improve the sensitivity of LV side phase-to-phase fault of high-impedance transformer, but also still protect the transformer as LV side CT saturation occurs in LV side external fault. This program is simple and easy-using in microprocessor transformer protection devices, which can improve the sensitivity and reliability of the high-impedance transformer protection device.

Key words: high impedance transformer; backup protection; sensitivity; compound voltage sum-current

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)22-0166-04

0 引言

近年来, 随着超高压和特高压电网的出现, 电网容量急剧增加, 大容量高电压的变压器数量也随之大量增加, 但由于大型变压器低压侧故障时后备保护灵敏度不足或动作时间过长, 造成变压器烧毁的事故也屡见不鲜。为了限制低压侧故障时的短路电流, 通常在变压器低压侧装设限流电抗器或直接采用高阻抗变压器。高阻抗变压器的实现目前有两种方案: 一种是将中压绕组分裂成两部分来增加绕组的漏抗, 另一种是在变压器低压绕组末端通过引线串联电抗器来增加绕组的漏抗。目前, 内置电抗器的方案已经成熟并成为高阻抗变压器的优选方

案^[1-2]。

高阻抗变压器已经在许多新建工程中采用。以某 220 kV 变电站的一台 SFSZ-240000/220 高阻抗变压器为例: $U_{KI-II}=14\%$, $U_{KI-III}=60\%$, $U_{KII-III}=40\%$, 高-低绕组的短路阻抗达 60%, 当变压器低压侧区内发生故障时, 高压侧过流保护的灵敏度不足。

《220~750 kV 电网继电保护装置运行整定规程 (DL/T559-2007)》7.2.14.2 条要求变压器短路故障后备应主要作为相邻元件及变压器内部故障的后备保护, 主电源侧的变压器相间短路后备保护主要作为变压器内部故障的后备保护, 其他各侧的变压器后备保护主要作为本侧引线、本侧母线和相邻线路的后备保护^[3]。因此, 传统的高压侧过流保护已经

无法满足高阻抗变压器的运行要求, 本文提出了一种提高高阻抗变压器低压侧区内故障灵敏度的方法, 希望能起到抛砖引玉的作用。

1 高阻抗变压器的保护配置

图 1 为 220 kV 变电站变压器的典型一次接线图, 为了限制低压侧故障时的短路电流, 普通变压器通常在低压侧装设限流电抗器, 但限流电抗器和变压器低压绕组间发生故障时仍然有很大的短路电流直接冲击变压器绕组。同样, 当电抗器和低压侧 CT3 (以 1# 变为例, 下同) 之间发生故障时, 高压侧过流保护的灵敏度通常也不满足要求, 此时需要配置专用的电抗器复压过流保护作为后备保护, 保护电流取限流电抗器前的 CT4, 电压取低压侧母线电压^[4-9]。

高阻抗变压器与普通三绕组变压器相比, 变压器高-低绕组的短路阻抗大大提高, 低压侧发生故障时不再产生很大的短路电流对变压器造成冲击, 因此可以取消低压侧为限制短路电流而单独设置的限流电抗器, 从而减少变电站的占地面积和降低变电站的建设费用。

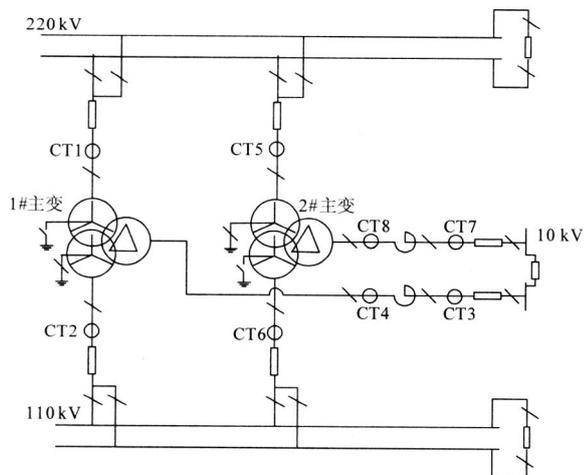


图 1 220 kV 变压器一次接线图

Fig.1 Primary connection of 220 kV transformer

针对高阻抗变压器, 除了可以配置普通变压器的后备保护外, 还可以采用低压侧复压和电流保护来提高低压侧区内故障的灵敏度, 同时对于变压器低压侧外部故障低压侧 CT3 严重饱和时也能让变压器不失去保护。保护的过流元件采用高压侧 CT1 电流和中压侧 CT2 电流矢量相加后得到低压侧电流, 即使低压侧区内故障或低压侧外部故障低压侧 CT3 严重饱和, 仍然可以用高压侧 CT1 电流和中压侧 CT2 电流计算出低压侧电流; 低压侧复压和电流保

护的复压元件固定取低压侧母线电压。

低压侧复压和电流保护配置为一段两时限, t_1 时限跳变压器低压侧开关, t_2 时限跳变压器各侧开关。

2 复压和电流保护原理

复压和电流保护由过流元件和复合电压元件两部分组成, 但过流元件还需要考虑变压器空投或区外故障切除时的励磁涌流问题、高压侧和中压侧的 CT 断线问题, 复合电压元件需要考虑低压侧电压压板退出或低压侧 PT 断线对保护的影响。低压侧复压和电流保护的逻辑框图见图 2。

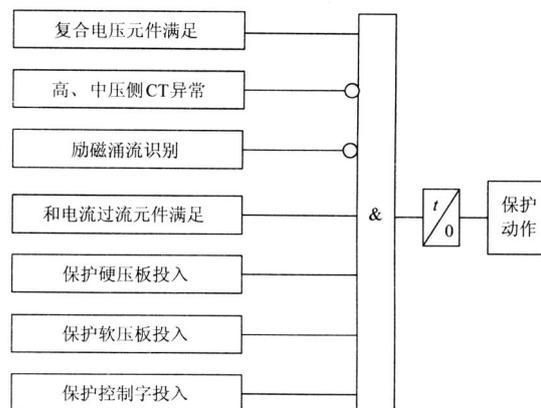


图 2 低压侧复压和电流保护框图

Fig.2 The diagram of compound voltage sum-current protection at LV side

2.1 过流元件

变压器高压侧和中压侧 CT 二次采用星形接线, 二次电流直接接入保护装置。电流方向都以指向变压器为正方向。低压侧复压和电流保护过流元件的计算方法如下:

$$I = |(K_h \cdot \dot{I}_h + K_m \cdot \dot{I}_m) / K_l| \quad (1)$$

式中: K_h 、 K_m 、 K_l 分别为主变高压侧平衡系数、中压侧平衡系数、低压侧平衡系数; \dot{I}_h 、 \dot{I}_m 分别为主变高压侧和中压侧经星角变换以后的电流。

由于 110 kV 及以上电压等级的系统通常为大地系统, 当系统发生接地故障且变压器中性点接地时, 变压器中性点有零序电流流出, 此时计算出的低压侧和电流不再是低压侧的实际电流, 需要消除零序电流的影响防止复压和电流在区外接地故障时误动。因此, 在计算低压侧电流时必须先消除高压侧和中压侧电流中的零序电流。

在主后合一的变压器保护装置中, 差动保护中高压侧和中压侧电流经星角变换以后已经消除了零

序电流的影响,所以,低压侧复压和电流的计算就可以直接采用主变高压侧和中压侧经星角变换以后的电流。式(1)中需要用到的数据都已经在差动保护中计算。根据式(1)就可以直接得到低压侧的和电流,当任一相和电流满足下列条件时,过流元件动作。

$$I > I_{op} \quad (2)$$

式中, I_{op} 为低压侧复压和电流保护的動作电流整定值。

2.2 复合电压元件

因低压侧复压和电流保护过流定值按躲低压侧额定电流整定,定值较低,低压侧电动机自启动时可能造成过流元件误动作,因此保护需要增加复合电压元件闭锁。

复合电压元件由负序电压和低电压两部分组成。负序电压反映系统的不对称故障,低电压反映系统对称故障。下列两个条件中任一条件满足时,复合电压元件动作。

$$U_2 > U_{2,op} \quad (3)$$

$$U < U_{op} \quad (4)$$

式中: $U_{2,op}$ 为负序相电压整定值; U_{op} 为低电压整定值; U 为三个线电压中最小的一个。

当变压器低压侧带分支时取两个分支的电压相“或”。

2.3 励磁涌流问题

考虑到大型变压器的励磁涌流衰减较慢,变压器空投或区外故障切除时产生的励磁涌流可能会造成低压侧复压和电流保护误动作,因此,需要考虑励磁涌流闭锁。

装置采用和电流中的二次谐波含量来识别励磁涌流。判别方程如下:

$$I_{op,2} > K_2 \cdot I_{op,1} \quad (5)$$

式中: $I_{op,2}$ 为和电流中的二次谐波; $I_{op,1}$ 为和电流中的基波; K_2 为二次谐波系数,可跟差动保护公用。如果某相和电流满足上式,同时闭锁三相和电流保护。

2.4 高压侧和中压侧的 CT 断线问题

高压侧或中压侧重负荷下发生 CT 断线时,根据高压侧电流和中压侧电流计算出来的和电流可能会大于低压侧复压和电流的保护定值,因此,也需要考虑高压侧和中压侧 CT 断线的影响,当高压侧或中压侧任一側 CT 断线闭锁保护。

2.5 电压压板退出或 PT 断线对保护的影响

当低压侧 PT 检修时,为了保证低压侧后备保护的正确动作,需退出该侧电压压板。

对于低压侧复压和电流保护,如果低压侧无分支,低压侧电压压板退出或低压侧 PT 断线时,保护变成过流保护;如果低压侧有分支,当低压侧某分支电压压板退出或某分支 PT 断线时,保护由另一个分支电压启动,当两个分支电压压板退出或 PT 断线时,保护变成过流保护。

3 低压侧复压和电流保护的整定

3.1 动作电流的整定

复压和电流保护的動作电流通常按躲变压器低压侧的额定电流整定。

$$I_{op} = \frac{K_{rel} I_{el}}{K_r n_a} \quad (6)$$

式中: K_{rel} 为可靠系数,取 1.2~1.3; K_r 为返回系数,取 0.85~0.95; I_{el} 为低压侧的额定负荷电流; n_a 为低压侧电流互感器的变比。

3.2 延时时间的整定

复压和电流保护的延时时间需要与低压侧出线保护最长动作时间配合。如果复压和电流保护動作电流不能躲过中压侧区外故障时的最大不平衡电流时,保护延时时间还需要考虑与中压侧过流保护動作时间配合。

关于复合电压元件中相间低电压的整定和负序相电压的整定,很多文献都有描述,本文不再赘述。

4 保护灵敏度分析

传统的高压侧过流保护動作电流定值为 I_z (按躲高压侧额定电流 I_{ch} 整定),而低压侧额定电流 $I_{el} = I_{ch} / N$ (N 为变压器高压侧额定容量和低压侧额定容量之比,设变压器变比为 1),则低压侧复压和电流保护的動作电流定值为 I_z / N 。

对于低压侧复压和电流保护,由于计算出来的和电流始终反映着变压器低压侧的电流,当两台变压器并列运行或变压器高压侧和中压侧都有电源时,低压侧故障时的短路电流比单台变压器单侧电源运行的情况下大很多(不考虑低压侧并列运行的情况),对同样的定值来说,保护的灵敏度要高,因此,我们只需要分析单台变压器单侧电源运行情况下保护的灵敏度。

以低压侧两相短路为例,高压侧三相电流分别

为 I_d 、 $-0.5I_d$ 、 $-0.5I_d$, 计算得出的低压侧和电流最大值为 $\sqrt{3}/2 \times I_d$ (变压器星角变换影响), 保护灵敏度 $K_{\text{sen}} = \sqrt{3}/2 \cdot N \cdot I_d / I_z$, 灵敏度相比传统的高压侧过流保护可提高到 $\sqrt{3}/2 \cdot N$ 倍, 220 kV 变压器低压侧通常为半容量, 因此低压侧复压和电流保护的灵敏度可提高到 $\sqrt{3}$ 倍。同样, 220 kV 变压器低压侧三相短路时低压侧复压和电流保护的灵敏度可提高到 2 倍^[10]。

500 kV 变压器高压侧额定容量和低压侧额定容量的比值比 220 kV 变压器更大, 因此, 低压侧复压和电流保护的灵敏度也比 220 kV 变压器更高。

5 结语

前面简单描述了变压器低压侧复压和电流保护的原理、整定及灵敏度分析, 可以看出低压侧复压和电流保护能显著提高高阻抗变压器低压侧故障的灵敏度, 尤其是当两台变压器并列运行或变压器高压侧和中压侧都有电源时灵敏度更高。另外, 针对普通变压器低压侧外部故障低压侧 CT 容易饱和的情况, 即使低压侧 CT 严重饱和, 复压和电流保护仍然能对变压器进行有效保护。对于低压侧装设限流电抗器造成高压侧过流保护灵敏度不够的变压器, 也可以考虑配置低压侧复压和电流保护作为低压侧故障的后备保护。对于高压侧过流保护灵敏度满足要求的变电站, 同样也可以考虑配置低压侧复压和电流保护作为低压侧故障的另一种后备保护。

由于低压侧复压和电流保护需要用到差动保护中的各侧平衡系数、高压侧和中压侧消除零序后的电流, 因此, 低压侧复压和电流保护最好配置在主后合一的变压器保护装置或专门的变压器差动保护装置中。因为和电流的计算在微机保护中非常简单, 所以低压侧复压和电流保护在微机保护中也很容易实现。

参考文献

- [1] 刘东升. 高阻抗变压器的结构与应用[J]. 变压器, 2006, 43 (10): 9-11.
LIU Dong-sheng. Application and structure of high impedance transformer[J]. Transformer, 2006, 43 (10): 9-11.
- [2] 董宏林, 王勇, 张立国, 等. 高阻抗变压器两种方案比较分析[J]. 变压器, 2008, 45 (9): 29-31.
DONG Hong-lin, WANG Yong, ZHANG Li-guo, et al. Comparison and analysis of two projects for high impedance transformer[J]. Transformer, 2008, 45 (9): 29-31.
- [3] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 220 kV-750 kV 电网继电保护装置运行整定规程[M]. 北京: 中国电力

出版社, 2008.

- National Development and Reform Commission. Setting guide for 220 kV-750 kV power system protection equipment[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2008.
- [4] 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.
WANG Wei-jian. Principle and application of electric power equipment protection[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2002.
 - [5] 贺家李, 宋从矩. 电力系统继电保护原理[M]. 北京: 中国电力出版社, 1994.
HE Jia-li, SONG Cong-ju. Principle of power system protective relaying[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1994.
 - [6] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护实用技术问答[M]. 北京: 中国电力出版社, 1997.
National Electric Power Dispatching and Communication Center. Applied technology catechism on electric power relay[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1997.
 - [7] 吴运祥, 沈国荣, 朱声石. 重视并应用好变压器后备保护[J]. 继电器, 2000, 28 (7): 8-11.
WU Yun-xiang, SHEN Guo-rong, ZHU Sheng-shi. Bring the backup protection for transformer into full play[J]. Relay, 2000, 28 (7): 8-11.
 - [8] 李岩军, 李轶群. 再论变压器低压侧故障对高压侧保护的影响[J]. 电力自动化设备, 2008, 28 (3): 85-87.
LI Yan-jun, LI Yi-qun. More on influence of transformer inter-phase faults at LV side on protection at HV side[J]. Electric Power Automation Equipment, 2008, 28 (3): 85-87.
 - [9] 杨旭东. 变压器角接侧两相故障的远后备保护问题[J]. 电力系统自动化, 2001, 25 (17): 45-46.
YANG Xu-dong. Remote backup protection for phase-to-phase faults at the angle-connected side of transformers[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25 (17): 45-46.
 - [10] 常凤然, 张洪, 周记录, 等. 变压器和电流保护的性
能分析[J]. 继电器, 2001, 29 (1): 16-19.
CHANG Feng-ran, ZHANG Hong, ZHOU Ji-lu, et al. Analysis on the characteristics of sum current protection for transformer[J]. Relay, 2001, 29 (1): 16-19.

收稿日期: 2010-03-22; 修回日期: 2010-09-13

作者简介:

黄曙 (1979-), 男, 硕士, 工程师, 从事电力系统及其自动化专业的应用及测试研究工作; E-mail: huangshu_2005@163.com

邓茂军 (1975-), 男, 工程师, 从事电力系统继电保护产品研发工作;

张鹏远 (1976-), 男, 工程师, 从事电力系统继电保护产品研发工作。