

[变压器]

变压器零序过电压保护相关问题研究

文/王少杰

国网冀北电力有限公司廊坊供电公司

变压器在电力系统的传输环节中承担着重要的任务，保证变压器的安全稳定运行至关重要。通过分析变压器零序过电压保护的相关原理与事故案例，提出了针对变压器零序过电压保护的改进方法。该方法通过加入两条电压判据实现，能够有效减少变压器零序过电压保护的误动次数，从而提高电网运行的稳定性。

电网的传输环节有发、输、变、配、用五个环节，变压器在变电环节中承担着重要的任务，保证变压器的运行稳定性对于保证整个电力系统的安全稳定运行起着至关重要的作用。而变压器在实际运行中，有可能会发生各种类型的故障，造成变压器异常运行。因此，继电保护系统为变压器配置了多种类型的主保护、后备保护以及其他保护，以期在发生不同类型的故障和异常时都能及时将故障和异常对电力系统的影响缩小到最小范围。变压器零序过电压保护属于变压器保护中的最后一环，在外部发生单相接地故障引起变压器中性点电压升高时，及时切除变压器，以保护人身及电网设备的安全。

变压器零序过电压保护原理介绍

对于全绝缘变压器增设零序过电压保护，该保护用于变压器中性点不接地时，所连接的系统发生单相接地故障的同时又失去接地中性点的情况。发生此种故障会对中性点直接接地系统的电气设备绝缘构成威胁，因此需要通过零序过电压保护及时切除故障。

对于分级绝缘变压器为限制此类变压器在中性点不接地运行时由可能会出现的中性点过电压，在变压器中性点应装设放电间隙，并装设反映间隙放

电的零序过电压保护。当变压器所接电力网失去接地中性点，变压器外部又发生单相接地故障时，此电压保护动作，经延时动作跳开变压器各侧断路器。需注意的是间隙保护不是后备保护，其动作电流和动作电压及动作延时的整定值不需要与其他保护相配合，如图1所示。

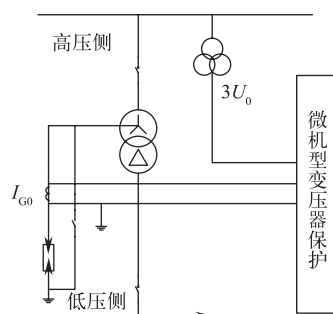


图1 零序过电压保护原理图

零序过电压保护动作值按下式整定

$$U_{0,\max} < U_{0p,0} \leq U_{\text{sat}} \quad (1)$$

式中， $U_{0p,0}$ 为零序电压保护动作值； $U_{0,\max}$ 为在部分中性点接地的电网中发生单相接地时，保护安装处可能出现的最大零序电压； U_{sat} 为中性点直接接地系统的电压互感器，在失去接地中性点时发生单相接地，开口三角绕组可能出现的最低电压。

110 kV及以上电压等级电网通常会采用中性点有效接地的方式,即系统在各种条件下的零序电抗与正序电抗之比 X_0/X_1 应不大于3且为正值。单相接地时,在电网中性点直接接地系统中,变压器中性点的稳态电压取决于系统零序阻抗与正序阻抗的比值,即

$$U_{b0} = \frac{3(X_0/X_1)}{2+X_0/X_1} U_{3x0} = \frac{3 \times 3}{2+3} \times 100 = 180 \text{ V} \quad (2)$$

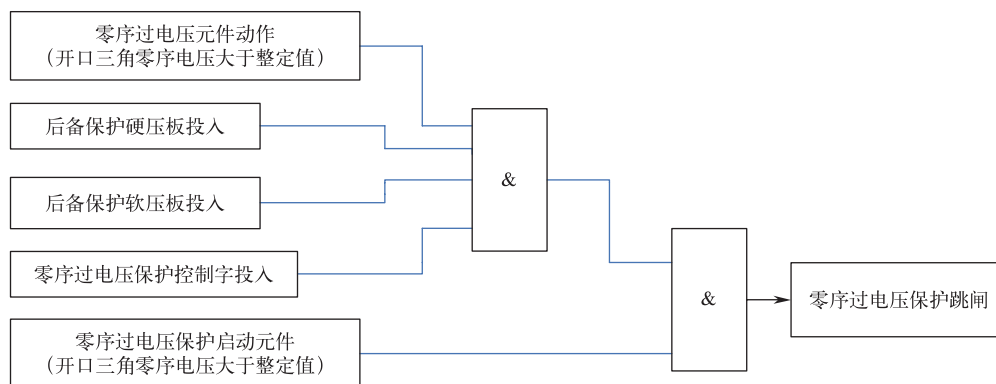


图2 零序过电压保护逻辑框图

由于变压器零序过电压保护只判别开口三角零序电压,一旦发生开口三角绕组误接线,则会造成零序过电压保护误动作,误切除变压器。

案例分析

1. 基本情况介绍

对某地某220 kV变电站220 kV 4号母线、2245开关、224-9PT进行例行试验、维护,对2号变压器进行渗漏消缺工作,停电范围为2号变压器,220 kV 4号母线,220 kV母联2245开关,224-9PT。变电站停电工作安全措施附图如图3所示。

式中, U_{b0} 为变压器中性点稳态过电压; U_{3x0} 为电压互感器开口三角绕组每相额定电压,为100 V。经计算,建议 $U_{op,0}=180 \text{ V}$ 。

在电网发生单相接地,中性点接地的变压器已经全都断开的情况下,零序过电压保护不需再与其他变压器接地保护配合,故其动作的时间只需要躲过暂态过电压的时间,可取0.3~0.5 s。

变压器零序过电压保护的逻辑图如图2所示。

检修工作人员在对220 kV 4号母线224-9PT进行例行试验工作前,需要拆除224-9PT接线柱上的开口三角绕组接线端子,在试验工作结束后进行恢复。但是检修工作人员在恢复224-9PT接线端子时误将B相电压的B相与N相端子接反,致使4号母线电压二次回路中原本应该为0 V的开口三角电压稳定在200 V,至检修工作结束,此误接线没有被检修人员发现。当天检修工作结束后,由运维人员进行倒闸操作为2号变压器、220 kV 4号母线、220 kV母联2245开关、224-9PT进行送电工作的过程中,由于电压二次回路中存在200 V稳定零序电

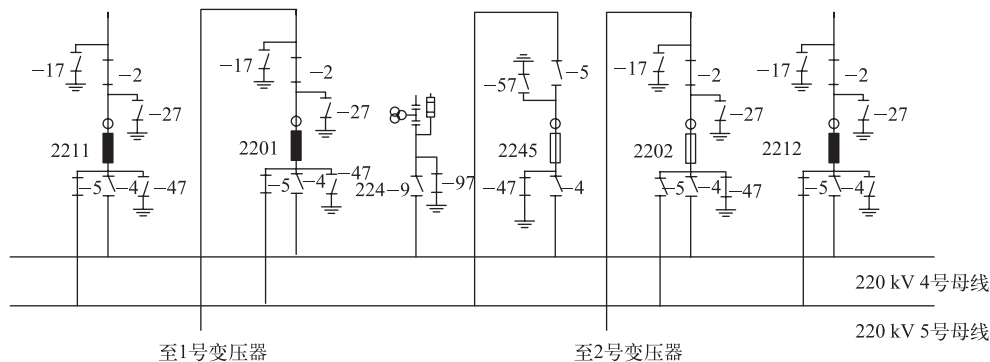


图3 变电站停电作业安全措施附图

压，1号变压器、2号变压器零序过电压保护动作，切除两台变压器，导致全站停电。

2. 案例过程分析

送电过程中，运维人员已依次合上2245开关、224-9刀开关以及2202-5刀闸，为220 kV母线、

224-9PT及2号变压器成功充电，此时变电站220 kV部分的运行方式为：2245开关合位运行，220 kV 4号母线和5号母线并列运行，2211、2212、2201、2202开关均接于220 kV 5号母线。此时变电站运行方式如图4所示。

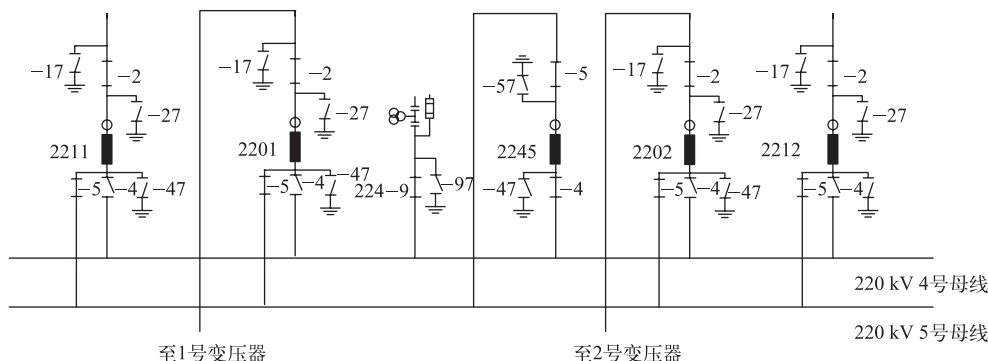


图4 变电站倒闸操作过程中设备带电示意图

此时，随着224-9PT的接入，220 kV 4号母线二次电压回路中已经存在200 V零序电压，但是由于变压器及线路间隔均接于5号母线，各间隔电压切换装置采集5母电压，5母电压正常，事故并未发生。运维人员继续进行送电工作，将2202-4刀开关合入，此时2202-4、2202-5刀开关均在合位状态，电压切换继电器同时动作，整个220 kV二次电压并列，所有间隔二次电压回路中均存在200 V零序电压，1号变压器和2号变压器零序过电压保护动作，跳开1号变压器和2号变压器三侧开关，导致全站停电。

3. 案例思考

本次事故的原因是检修人员的疏忽大意，若检修人员在送电前能够提前测量一下零序电压，或者查看故障录波系统，可以预防此次事故的发生。但是若能在变压器零序过电压保护的判据中做一些改进，将非变压器外部单相接地故障产生的零序过电压判别出来，也能预防此类事故的发生。

对变压器零序过压保护判据的一些探讨

1. 零序电压的取得

两台变压器保护的零序电压均为外接零序电压，取自220 kV两条母线PT上的开口三角绕组，如图5所示。图5中L630为220 kV 4号母线零序电压，L640为220 kV 5号母线零序电压，L720为切换后输入变压器保护的外接零序电压。

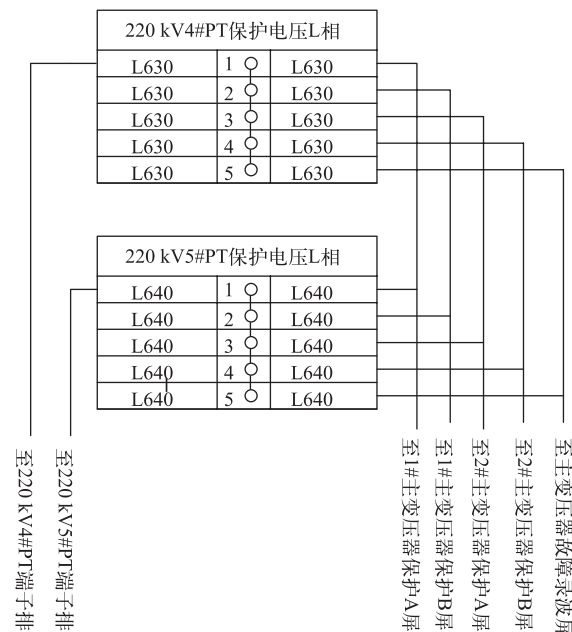


图5 220 kV电压转接屏端子排图

由于220 kV变电站为双母接线，变压器保护零序电压取自哪条母线取决于变压器接于哪条母线，由-4刀开关或者-5刀开关的刀开关辅助触点实现电压切换功能。电压切换回路会分别取两个刀开关的一对常开辅助触点，通过继电器及辅助触点实现母线电压的切换。电压切换回路如图6所示。

正常情况下，变压器保护的电压只取自一条母线，但是在倒闸操作的过程中，两条母线的刀开关均闭合，切换继电器1YQJ3与2YQJ3同时动作，导

致两条母线电压并列。

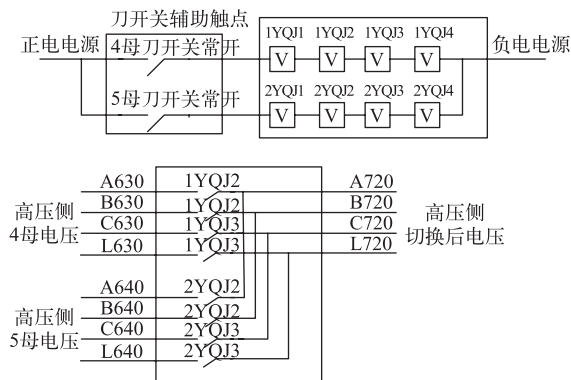


图6 220 kV电压切换回路图

因此在4母二次电压回路中存在200 V零序电压，且-4、-5刀开关均闭合的一瞬间两台变压器保护外接零序回路L720中均存在200 V零序电压，两台变压器零序过电压保护动作，切除两台变压器，造成220 kV变电站全停电。

通过以上分析，可以看出变压器保护的零序电压只取决于母线PT采集的开口三角绕组电压，在对母线PT进行检修时，需要拆除PT接线柱上开口三角绕组的端子，检修工作结束后进行恢复，一旦检修人员恢复接线错误，送电过程中在二次回路产生零

序电压，将引起变压器零序过电压保护动作，切除两台变压器，造成全站停电。由于母线PT检修工作经常进行，此误接线风险较大。

2. 改进方法

通过以上分析可知，若系统不存在单相接地故障，由开口三角绕组接线错误产生零序电压，则变压器保护自产零序电压近似为零，只有稳定的外接零序电压，因此建议在变压器零序过电压保护中加入以下两个判据。

1) 变压器保护高压侧采集的电压三相幅值均大于40 V，此条判据说明变压器高压侧电压并未因外部系统单相接地故障而下降。

2) 变压器保护高压侧采集的三相电压为正序电压，此条判据说明变压器高压侧电压相序并未因为外部系统单相接地故障而改变。

以上两条判据说明外部系统不存在单相接地故障，若存在以上两条判据，则闭锁变压器零序过电压保护，说明二次回路中存在零序电压为二次回路误接线所导致。

改进后的变压器零序过电压保护的逻辑图如图7所示。

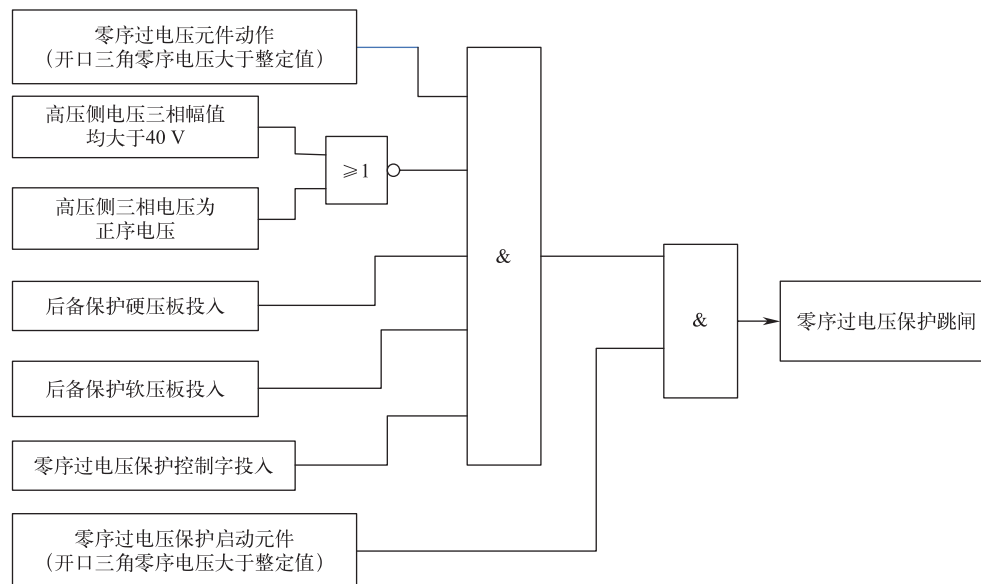


图7 改进后零序过电压保护逻辑框图

结束语

变压器零序过电压保护不能判别外接零序电压

是否为外部系统故障所产生，容易因开口三角绕组回路误接线而误动作，从而误切除变压器，影响电

力系统的运行稳定性。根据外部系统单相接地时的电压特性，建议在变压器零序过电压保护中加入以下两个判据，若存在以下两条判据中则闭锁变压器零序过电压保护：①变压器保护高压侧采集的电压三相幅值均大于40 V；②变压器保护高压侧采集的自产三相电压为正序电压。通过这两个判据可以准确判断变压器零序过电压回路所采集的外接零序电压是否为系统单相接地故障所致，由此来判定是否开放变压器零序过压保护，以此来提高供电系统的可靠性。EA

(收稿日期：2024-05-10)

参考文献

- [1] 梁斌，孙燕．主变中性点刀闸操作过程中零序保护、间隙保护投退研究[J]．电子质量，2021(6)：118-120.
- [2] 赵上波．并联运行方式下变压器零序保护设计[J]．电工技术，2017(7)：40，43.
- [3] 候素平．浅谈110 kV主变后备保护——零序保护[J]．科技情报开发与经济，2011(21)：201-203.
- [4] 孔瑾．电力变压器的零序保护与过负荷保护设计[J]．科技视界，2018(16)：74-75.
- [5] 刘涛，高晓辉，柳震．一起变压器后备零序保护越级跳闸事故的分析[J]．电力学报，2013，28(4)：309-312.
- [6] 陈洁稻．变压器故障解决中继电保护技术的应用研究[J]．电气技术与经济，2023(10)：374-376.
- [7] 周刚．继电保护技术在变压器故障解决中的应用分析[J]．中国设备工程，2021(6)：64-65.

