

110~220kV变压器零序保护存在的问题与改进措施

河南电力勘测设计院 白志敏

摘要

本文根据现行继电保护规程有关规定,对目前常用的变压器零序电流、电压保护的存在问题进行分析,提出了切实可行的改进意见。建议有关主管部门对现行继电保护规程进行必要的修正,以便适应生产部门的要求。

一、220kV变压器零序保护存在的问题

对于220kV变压器零序保护,“继电保护和自动装置设计技术规程”是这样规定的:

在中性点直接接地的电力网中,当变压器中性点可能接地运行时,应装设零序电流保护,零序电流保护由两段组成,每段各带两个时限。对自耦变压器和高、中压侧中性点都直接接地的三圈变压器,当有选择性要求时,应增设方向元件。双线圈及三线圈变压器的零序电流保护应接到变压器中性点引出线的电流互感器上。自耦变压器的零序电流保护应接入高、中压侧电流互感器的零序回路中。当变压器中性点可能不接地运行时,应对电网单相接地且失去接地中性点而引起的电压升高,装设零序过电压保护。

根据上述规定,110kV及以上中性点直接接地的电力网中,升压变压器或降压变压器通常装设下列保护:

1. 两段式零序电流保护。
2. 中性点经间隙接地的变压器,装设零序过电压保护。
3. 中性点未经间隙接地的变压器,采用联跳方式,先跳开不接地变压器。

按照上述规定,原有的零序保护存在如下问题:

由图5可知,本侧信号受操作方波的正半周控制通过二极管门电路中二极管BG15,而对侧信号只有在同一操作方波的负半周才能通过门电路中的二极管BG16。当两侧信号同相位地进入收讯入口时,只有操作方波的正半周才有本侧的信号输出,而在操作方波的负半周时无信号输出,此时出现间隔。当两侧高频信号相差180°进入收讯机入口时,在操作方波的正半周有本侧信号输出,而在操作方波负半周时只有对侧信号输出,此时有连续的高频信号输出比相回路没有电流输出,比相继电器也不能动作。这个电路从根本上避免了差拍现象的产生。

1. 零序方向过流保护中，零序功率方向继电器接线的正确性无法检验。
2. 无法装设兼顾变压器中性点经间隙接地和不经间隙接地两种方式的零序过电压保护。

因此，往往影响了零序保护的正常运行。

下面依次进行分析，并提出解决的办法。

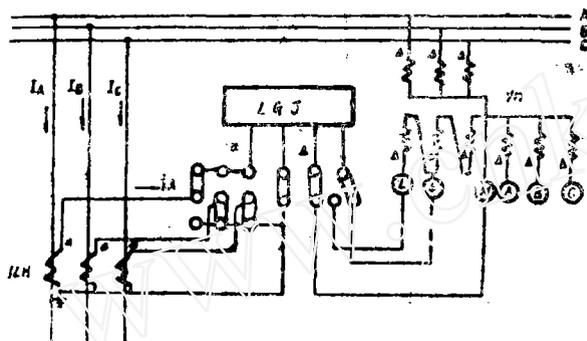


图 1

二、零序功率方向继电器接线的检验

目前通用的检验零序功率方向继电器接线正确性的方法如下：

由于正常情况下，电网中不存在零序电流和零序电压，所以都是借用系统正常工作电压和负荷电流进行模拟（如图1所示）。

检验步骤如下：

1. 首先测试电压 U_{AN} 、 U_{BN} 、 U_{CN} 、 U_{AS} 、 U_{BS} 、 U_{CS} 、 U_{SN} 。
2. 绘制电压向量图。（如图 2 所示）
3. 零序功率方向继电器电流、电压极性检验。

简要说明如下：

对于中性点有效接地系统，电压互感器二次相电压为： $U_{AN} = U_{BN} = U_{CN} = \frac{100\text{ V}}{\sqrt{3}} = 57\text{ V}$ ，辅助线圈电压为 100V。

$$\text{因为：} |\dot{U}_{SN}| = -|\dot{U}_{NS}| = -100\text{ V}$$

$$\text{所以：} |\dot{U}_{AS}| = |\dot{U}_{AN} + \dot{U}_{NS}| = 57\text{ V} + 100\text{ V} = 157\text{ V}$$

$$|\dot{U}_{BS}| = |\dot{U}_{CS}| = |\dot{U}_{BN} + \dot{U}_{NS}| = \sqrt{57^2 + 100^2 - 2 \times 57 \times 100 \times \cos 60^\circ} = 87\text{ V}$$

由此，如果实测数据与上述计算结果相吻合，则说明电压回路接线正确，反之接线错误。

零序功率方向继电器电压线圈、电流线圈极性的标注原则及其动作区域确定如下：

当电流从继电器“*”端加入，电压从“△”加入，若电流滞后于电压的相角 φ 等于零序功率方向继电器的最大灵敏角 φ_{Lm} 时，继电器的动作功率最小（如图 3 所示），相应的，射线 \overline{OS} 为继电器的最灵敏线。过 0 点作 \overline{OS} 的垂线 \overline{MN} ，则直线 \overline{MN} 右侧为继电器的动作区，左侧为制动区。

由图 1 可知，在电力系统中，零序功率继电器的动作电压为 \dot{U}_{LN} ，而试验电压 \dot{U}_{SN}

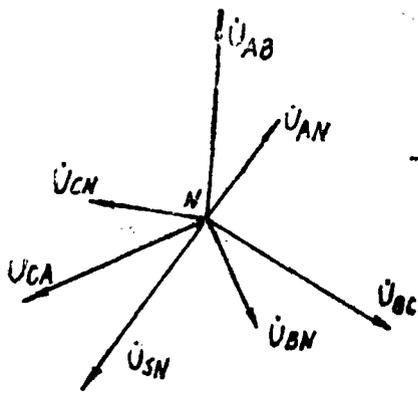


图 2

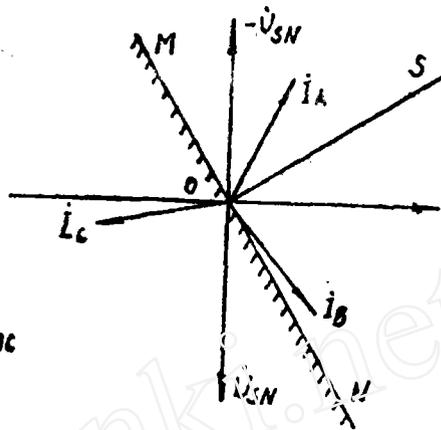


图 3

$= -\dot{U}_{LN}$, 即动作电压是从非“ Δ ”端加入的, 所以电流线圈从“*”端加入的电流要滞后于 $-\dot{U}_{SN}$, 且等于 ϕ_{Lc} 时, 才为继电器的最大灵敏角。

在变压器的零序方向保护中, \dot{U}_{SN} 是可以取得的, 但由于功率方向继电器的电流线圈是接在中性点电流互感器上, 正常时无零序电流, 从而试验电流是无法取得的, 相应地, 功率方向元件也就无法检验。有些部门采用变压器出线端的电流互感器二次电流进行方向检验, 尽管违反了上述检验规定, 但却也是不得已之举。其步骤如下(图 4 所示):

1. 将零序功率继电器电压线圈从“ Δ ”端加入 \dot{U}_{SN}
2. 分别将负荷电流 \dot{I}_A 、 \dot{I}_B 、 \dot{I}_C 从“*”端加入功率继电器的电流线圈。
3. 按前述方法检验功率方向继电器接线的正确性。
4. 核对变压器中性点电流互感器的极性, 并标注“*”。
5. 按照零序功率方向继电器的标号“*”与“ Δ ”和电流、电压互感器的极性标号“*”和“ Δ ”, 相应连接电流、电压端子。

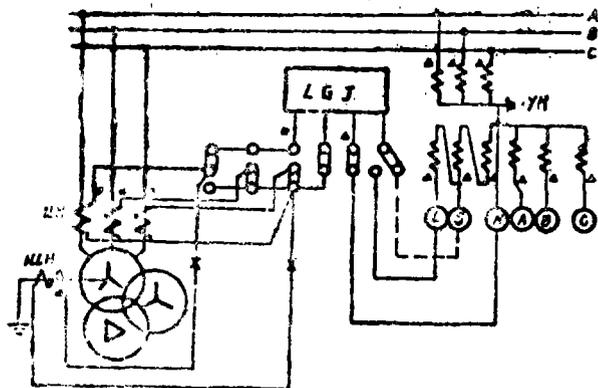


图 4

显然, 上述检验方法不仅要例行标准的检验程序, 还要检验中性点电流互感器的极性。只能间接地检验零序功率方向继电器接线的正确性。这样作, 要经过有关主管部门的认可和批准, 由于事关重大, 致使主管许多单位难以决断, 从而严重地影响了零序方向保护的投运率。

众所周知, 单相接地故障发生的几率很高, 占各种故障总和

的60~70%，而且很多相间故障是由单相接地进一步扩大造成的。所以，单相接地保护必须加强和完善，上述零序保护所存在的问题应当予以改进。

三、零序方向保护的改进

为使变压器零序后备保护合理地发挥作用，提高零序保护的可靠性和功能的完善性，且将零序方向电流保护的电流元件和功率方向元件的电流线圈接入变压器出线端电流互感器的零序回路中，这样作的好处是：

1. 零序功率方向元件可以按照常规的检验方法进行，调核、检验方便，提高了零序方向电流保护的投运率。

2. 由于零序方向保护的功能主要在于作为相邻元件接地故障的后备，这样接线可以使其功能明确，保护动作后仅切除本侧断路器（视情况首先切除母联或分段断路器）。

3. 此接线虽有不足之处，即为弥补变压器线圈V接地故障失去保护这一缺欠，使其保护的功能与原有配置相当，而在变压器中性点电流互感器上增设了不带方向的零序Ⅱ段电流保护。但原有的零序方向保护，在变压器内部接地故障时尽管可以动作，由于种种原因不能切除故障，就此而言，改进后的保护无异可以用于切除上述故障。

综上所述，对于高、中压侧中性点都直接接地的三圈变压器，当有选择性要求时，应装设下述两段式零序电流保护：（接线图见图5所示）

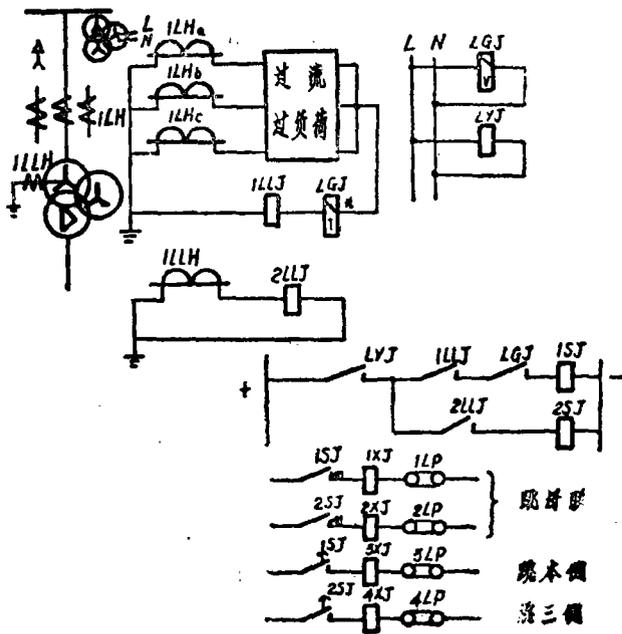


图5

1. 第一段，零序方向电流保护，其电流元件和功率方向继电器的电流线圈接在变压器出线端电流互感器的零序电流回路中，电压元件和功率方向继电器的电压线圈接在母线电压互感器的开口三角形出口。该保护动作后，以较短时间动作于缩小故障范围，以较长时间动作于本侧断路器。

2. 第二段，零序电流保护，其电流元件接在变压器中性点电流互感器上。该保护动作后，跳开整个变压器。

这样设置，方向保护只作为本侧相邻元件零序保护的后备，而不带方向的保护则同时作为相邻元件和变压器本身接地故障保护的总设

保护的后备，而不带方向的保护则同时作为相邻元件和变压器本身接地故障保护的总设

备,安全可靠,功能明确、而且简而易行便于检验。

四、变压器中性点接地方式的选择和零序过电压保护接线

前已述及,变压器的零序过电压保护与其中性点的接地方式有关,而中性点接地方式分为经间隙接地和不经间隙接地两种,分述如下:

中性点经间隙接地的方式,在220kV系统中广为采用。因为在220kV系统中,其变压器的中性点绝缘水平较高,通常为110kV,棒间隙和避雷器的放电特性能合理的配合。采用这种接地方式的变电所,当系统发生单相接地时,中性点接地变压器的零序方向过流保护首先跳开母联(或分段)断路器,以缩小故障范围。若接地故障发生在中性点接地变压器相连接的母线段内,则线路的零序保护和变压器零序电流保护共同作用可将变压器切除;若接地故障发生在中性点不接地变压器所连接的母线段内,则线路的零序保护将先后动作,直至该变压器所连接的电网失去中性点后,靠零序过压保护切除变压器。这样,当变电所内变压器均匀地接在两段母线上时,若系统发生单相接地故障,总可保留一半变压器,以保证对用户供电。当然,出于对系统稳定的考虑,不允许跳开母联(或分段)断路器,则另当别论。

变压器接地联跳保护方式一般应用在变压器中性点绝缘水平较低的变压器上,例如110kV变压器或220kV三圈变压器的110kV电压侧的中性点,其绝缘水平一般只有35kV(端部相间电压的1/3),棒间隙和避雷器的动作特性很难合理配合,简要分析如下:

当变压器中性点装有棒间隙和避雷器时,对其动作特性要求如下:

1. 单相接地故障时,棒间隙不应动作,并应满足下式:

$$U_{c_{k50\%}} K_{C1} K_{C2} < \frac{U_{c_{k \cdot s \cdot h}}}{1.15}$$

2. 大气过电压时,棒间隙不应动作,由避雷器保护变压器,即要求间隙的冲击放电电压下限高于避雷器的冲击放电电压,并满足下式:

$$\frac{U_{c_{k50\%}}}{K_{C2} K_{C3}} > U_{b_{c \cdot h}}$$

3. 间隙应对操作过电压可靠进行保护,即间隙的工频放电电压应低于变压器中性点的工频试验电压,并满足下式:

$$U_{G_{50\%}} K_{C3} K_{C2} < \frac{U_{G_{s \cdot h}}}{1.15}$$

上述各式中:

$U_{c_{k \cdot s \cdot h}}$ —变压器冲击试验电压(峰值),千伏。

$U_{c_{k50\%}}$ —间隙的50%冲击放电电压(峰值),千伏。可查曲线得到。

$U_{b_{c \cdot h}}$ —避雷器冲击放电电压(峰值),千伏。

$U_{G_{s \cdot h}}$ —变压器工频试验电压(有效值),千伏。

$U_{G_{50\%}}$ —棒间隙50%工频放电电压(有效值),千伏。查曲线得到。

K_{C1} —棒间隙操作冲击放电电压分散系数,取1.09。

K_{C2} —棒间隙放电气象系数, 取1.05。

K_{C3} —棒间隙工频放电电压分散系数, 取1.06。

当110kV变压器中性点绝缘水平为35kV时, 其工频试验电压为85kV(有效值), 冲击试验电压为180kV(峰值)。对应于该绝缘水平所配备的避雷器为FZ—40(或2(FZ—20)), 其工频放电电压为84kV(有效值), 1.5~20 μ s的冲击放电电压为134kV(峰值)。

理论计算(略)可得: 大气过电压下, 110kV变压器中性点的过电压水平为100~300kV; 单相接地、且失去接地中性点情况下的过电压约为63kV, 接地系数为0.6时, 过电压约为40kV, 暂态过电压为60~70kV; 非同期合闸所导致的过电压可能达到130kV左右。

当棒间隙和避雷器配合使用时, 按照上述1、2两项要求, 棒间隙的50%冲击放电电压应满足下式:

$$K_{C2}K_{C3}U_{50\%} < \frac{U_{cA \cdot \cdot \cdot}}{1.15K_{C1}K_{C2}}$$

对于上述情况下, $K_{C2}K_{C3}U_{50\%} \approx 150kV$

$$\frac{U_{cA \cdot \cdot \cdot}}{1.15K_{C1}K_{C2}} \approx 140kV$$

显然, 无法选出同时满足单相接地故障和大气过电压要求的棒间隙。

另外, 为了满足条件3的要求, 棒间隙50%工频放电电压应满足下式:

$$U_{G50\%} < \frac{U_{G \cdot \cdot \cdot}}{1.15K_{C2}K_{C3}} = \frac{85}{1.15 \times 1.05 \times 1.06} = 66kV$$

而对应该工频放电电压的棒间隙的冲击放电电压远小于条件2所要求的数值。

所以, 无论那个条件, 都很难配合得当。

为了保证变压器安全可靠运行, 往往采用接地变压器联跳保护方式, 即系统发生单相接地故障时, 首先跳开中性点不接地变压器, 再依靠零序电流保护, 以较长时间切除中性点接地变压器。显然, 若变电所内仅有两台变压器, 且分别接在不同的母线段上, 则不允许首先切除母联(或分段)断路器, 以保证首先跳开中性点不接地变压器, 这种保护方式往往使得变电所内变压器全部切除, 而使整个变电所停电。

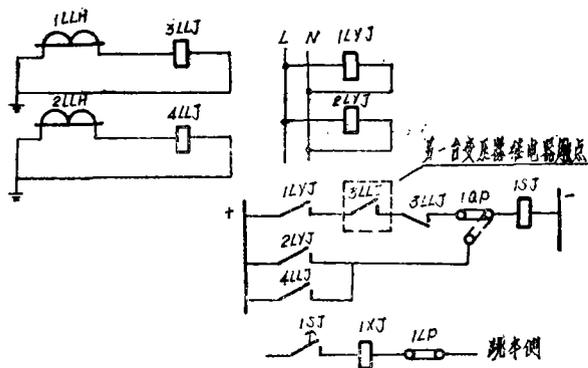


图 6

注: 1LLH为变压器中性点电流互感器;

2LLH为间隙下部电流互感器;

虚线框中触点为另一台变压器保护触点。

因此, 有些供电部门对这种联跳方式极不欢迎, 而

(下转65页)

61

门1开, 2闭, CK40能送入CK端子, 18kC脉冲不能进入CK端子。TL2正常计时。当INPD信号消失时传输门2开, 1闭, 将18kC信号送入CK端子, TL2只经 $128 \times \frac{1}{18} \text{ms} = 7.1 \text{ms}$ 就返回了。

图4的TL2整定开关有一个特点, 每一整定位置为二把刀, 一常开, 一常闭如图连接。当所有小开关全不合时, N3固定接入正电位使这时的TL2延时0.2秒动作。当只用N1、N2时, 实际上N3仍接着, 相当于TL2延时0.25秒动作, 其它可以依此类推。可以看出, 因保护装置对II段时间要求不能太小, 像这样接线后可以防止由于误整定而造成TL2时间太短, 因为现在最短时间为0.2秒。另外图4中小开关SW141A—1为投切TL2用, SW141A—8为输入起动信号选择用。

3. 用作瞬时返回的时间元件:

在要求用作为瞬时返回的时间元件时可以将3110按图5接线。图中整定开关与电阻R均类同于图4接线, 图5中省去未画, 只将不同处简要给出。



图5 瞬时返回的时间元件接成

(上接61页)

宁愿冒棒间隙与避雷器放电特性配合不当的风险, 采用经棒间隙接地的方式。

上述两种变压器接地方式, 各地均有采用。为便于用户灵活选择, 使保护具有广泛的适应性, 建议采用如图6接线所示:

图6中, 过电压时间间隙击穿电流继电器应接在间隙下部的电流互感器上。当暂无该电流互感器时, 也可接在中性点电流互感器上, 但必须用中性点接地隔离开关辅助触点进行闭锁, 由于该辅助触点可靠性差, 所以后者是迫不得已的作法。当然, 也可以采用手动连片, 人为进行切换, 但由于操作疏忽, 可能引起人为责任事故。所以, 在间隙下部增装10~35kV电流互感器, 尽管增加了一点投资, 但对零序保护的可靠运行和对整个变压器的安全都是有利的。

参考文献

1. 继电保护和安全自动装置技术规程 (SDJ 6—83)
2. 水电站机电设计手册 (电气一次)