

变压器中性点运行方式分析

曹亚旭, 邵 鹏, 景中焰, 张学众, 张志宏, 张宏基, 靳 巍

(郑州供电公司, 河南 郑州 450006)

摘要: 通过对中性点不接地系统防止系统过电压措施、中性点接地对电力系统的影响进行分析, 特别对操作、断线、单相接地、雷击等不同情况下中性点处出现的过电压进行分析, 同时结合零序通路问题, 总结出变压器中性点接地方式的选择应考虑系统零序阻抗、零序电流的分布、N-1 对系统运行方式的影响等因素, 做到不使接地点数目过多, 以避免零序网络过于复杂、零序保护的定值不好整定、零序保护的各段保护之间不易配合, 也不能因为接地点太少而使电网接地不可靠。

关键词: 变压器; 中性点; 过电压; 零序通路

Operational mode analysis of transformer neutral point

CAO Ya-xu, SHAO Peng, JING Zhong-zhao, ZHANG Xue-zhong, ZHANG Zhi-hong, ZHANG Hong-ji, JIN Wei
(Zhengzhou Power Supply Company, Zhengzhou 450006, China)

Abstract: Combined with zero sequence channel problems, this paper analyzes the influence of neutral point ungrounded system over-voltage method and neutral point earthing towards the electric power system, especially the over-voltage in the neutral point area in different circumstances such as operation, disconnection, single-phase earthing and lightning strike, etc. And it reaches the conclusion that in the selection of transformer neutral point earthing method, some factors should be taken into consideration such as system zero sequence impedance, distribution of zero-sequence current and the influence of N-1 to the system operational mode. These can avoid the overabundance of earthing point, the excessive complication of zero-sequence internet, the hard set of zero-sequence protection point, the hard coordination of each-sectional protection of zero-sequence protection and the unreliability of grid earthing for the reason of too few earthing points.

Key words: transformer; neutral point; over-voltage; zero sequence channel

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2010)05-0115-04

0 引言

电力系统中变压器中性点接地方式的选择, 是一个关系到电网安全运行的综合性问题。它与电网的绝缘水平、保护配置、系统的供电可靠性、发生接地故障时的短路电流大小及分布等关系密切。

由于变压器的绕组靠近中性点的主绝缘水平比绕组端部的绝缘水平低, 也就是变压器采用的分级绝缘, 现在电力系统中 220 kV、110 kV 等输电系统中性点常采用直接接地方式(为大电流接地系统)。线路绝缘均按照相电压标准设计, 其特点是: 当系统发生接地故障, 尤其是发生单相接地故障时, 非故障相的对地电压不升高, 接地相的故障电流较大。在大电流接地电网中, 接地电流的大小和分布以及零序电压的水平, 主要取决于电网中性点直接接地

变压器的分布。据统计, 在电网发生的故障中, 接地故障占 80% 以上, 因此如何能准确、快速地切除故障, 如何能灵敏地感受到零序电流, 就和变压器中性点的接地有直接的关系, 因此, 合理选择变压器中性点的接地, 对于快速切除故障, 提高电力系统运行的可靠性和稳定性, 减少系统故障对电力系统的影响, 消除系统故障对电力设备的危害都有非常重要的现实意义。

1 变压器中性点不接地时的过电压

根据 GB 1094.3—85《电力变压器第三部分 绝缘水平和绝缘试验》的规定, 变压器的中性点绝缘水平如表 1 所示。

对于中性点接地的变压器来说, 实际运行当中中性点是安全的。对于实际运行中, 中性点不接地

的变压器，在中性点处可能出现过电压，从而对变压器中性点绝缘造成很大的危害。由于现阶段电力

系统主网构架是以220 kV变压器为主，因此我们就以220 kV变压器为例来进行分析说明。

表1 变压器的中性点绝缘水平参照表

Tab.1 Neutral point of transformer insulation level reference table

系统标称电压 有效值/kV	设备最高电压 有效值/kV	中性点接地 方式	雷电重的耐受 电压峰值/kV	短时工频耐受 电压有效值/kV
110	126	直接接地	185	85
110	126	不接地	250	95
220	252	不接地	400	200

1.1 操作产生的过电压

切除空载线路、空载线路合闸、系统解列、电弧接地或者变压器的上一级线路或者本变压器的开关不同期合闸，在中性点不接地变压器的中性点处产生操作过电压。如果变压器一相运行，两相不运行，中性点不接地变压器中性点处可能产生的电压为最大相电压 U_{xg} ；如果变压器两相运行，一相不运行，中性点不接地变压器中性点处可能产生的电压为 $U_{xg}/2$ ，如果被操作的线路与变压器参数达到一定的匹配关系时，暂态过程中产生的过电压可能超过 $2U_{xg}$ ，稳态时可能达到 $2U_{xg}$ 的情况。对于两侧均有电源的变压器，在非全相运行时有 $2U_{xg}$ 的差频过电压，产生的此类过电压会对变压器中性点绝缘产生很严重的危害。

1.2 断线产生的过电压

由于电力线路断线而造成变压器非全相运行也会产生过电压。一相断线中性点不接地变压器中性点处可能产生的电压为 $U_{xg}/2$ ，两相断线中性点不接地变压器中性点处可能产生的电压为 U_{xg} 。

1.3 单相接地时的过电压

单相接地时，在变压器中性点处会产生工频过电压。一般采用对称分量法计算故障时变压器的中性点电压。以变压器 A 相发生接地短路为例分析，故障处零序电压为：

$$U_0 = -I_0 Z_0 = -E_1 Z_0 / (2Z_1 + Z_0)$$

其中： E_1 为系统原有的等值电势； Z_1 、 Z_0 分别为正序阻抗、零序阻抗。

忽略阻抗中的电阻，并令零序电抗和正序电抗之比为 $K = X_0 / X_1$ ，则有 $U_0 = -E_1 K / (2 + K)$ ，此零序电压就是变压器中性点不接地时中性点的最大稳态工频过电压，其值为

$$U_{0max} = E_1 K / (2 + K)$$

工频暂态过电压为

$$U_{0m} = (1 + \gamma) U_{0max}$$

其中： γ 为衰减振荡系数，一般在0.6~0.8之间取值，

本文取0.8。

对于不同的系统，综合零序阻抗和综合正序阻抗有不同的数值，对中性点有效接地系统不大于3，中性点绝缘系统 $K = \infty$ ，为此，对于110 kV系统而言，单相接地时中性点的工频稳态电压和暂态电压分别为：

$K = 3$ 时，

$$U_{0max} = 110 / \sqrt{3} \times 3 / (2 + 3) = 38.1 \text{ kV}$$

$$U_{0m} = (1 + 0.8) \times 38.1 = 68.6 \text{ kV}$$

$K = \infty$ 时，

$$U_{0max} = 110 / \sqrt{3} = 63.5 \text{ kV}$$

$$U_{0m} = (1 + 0.8) \times 63.5 = 114.3 \text{ kV}$$

考虑110 kV系统设备设计最高电压一般为126 kV，此时单相接地时中性点的工频稳态电压和暂态电压分别为：

$K = 3$ 时，

$$U_{0max} = 126 / \sqrt{3} \times 3 / (2 + 3) = 43.6 \text{ kV}$$

$$U_{0m} = (1 + 0.8) \times 43.6 = 78.8 \text{ kV}$$

$K = \infty$ 时，

$$U_{0max} = 126 / \sqrt{3} = 72.7 \text{ kV}$$

$$U_{0m} = (1 + 0.8) \times 72.7 = 131 \text{ kV}$$

1.4 雷击过电压

当雷电进行波沿导线进入变压器时，会在变压器中性点产生过电压。在变压器中性点上产生的最大对地的雷电过电压可以按照下式估算：

$$U_{NMAX} = 0.6N(1 - e^{-4T/T_N})U_{RES}$$

其中： U_{RES} 为变压器绕组前端的雷电过电压，若绕组前端安装有无间隙金属氧化物避雷器，则以其在标称放电电流下残压计算； N 为同时进波相数，三相同同时进波， $N=3$ ；两相同同时进波， $N=2$ ； T 为绕组首端雷电过电压周期性分量的波长； T_N 为变压器中性点电压的振荡周期。

统计资料表明，三相同同时来波的机会是10%，即在变压器进线侧装有避雷器的情况下，约90%的

机会在中性点上的电压是小于所可能遭受的过电压最大值。

1.5 零序通路问题

当变压器中性点不接地时, 本侧后备保护范围内发生单相接地故障时, 无法形成零序通路, 造成线路零序保护和变压器本侧零序后备保护拒动。只有等待单相故障发展成相间故障后靠距离保护动作切除故障, 这样切除故障时间长, 不利于电力设备的稳定、可靠运行。

通过上述分析, 我们得出根据一次系统及继电保护装置的需要, 变压器宜采用中性点接地方式运行, 但是需要结合中性点接地对整个系统零序通路的影响及继电保护装置定值整定的影响, 因此需要平衡布置变压器中性点的接地方式、接地数量和接地位置。

2 变压器中性点接地方式对零序保护的影响

变压器中性点接地的原则是: 变电站只有一台变压器、自耦变压器及绝缘有要求的变压器中性点直接接地运行; 变电站有两台变压器的, 应只将其中一台中性点直接接地运行; 变电站两台变压器, 当一台变压器停运时, 将另一台中性点不接地的变压器改为直接接地; 特殊情况, 对于三绕组变压器, 两台变压器其中一台高、中压侧接地, 另一台变压器中压侧接地(注: 本文对变压器的分析均为 $Y_0/Y_0/\Delta$ 接线)。考虑最常见的220 kV/110 kV/10 kV变压器, 根据实际运行经验, 一般只考虑对侧变电站220 kV变压器中性点接地, 下一级110 kV变电站变压器中性点不接地的方式。

2.1 单台变压器高、中压侧中性点接地

如果本站只有一台变压器, 其中性点应高、中压侧接地; 当本站有两台或两台以上变压器, 选用一台变压器高、中压侧接地时, 其等值零序网络图如图1所示。

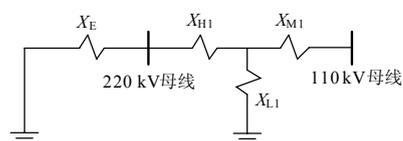


图1 一台变压器高、中压侧接地等值零序网络图

Fig.1 A transformer of high and medium voltage side of ground zero-sequence equivalent network diagram

其中: X_E 为系统等值零序阻抗; X_{H1} 、 X_{M1} 、 X_{L1} 为变压器高、中、低压侧零序阻抗。

由图1可以看出, 等值到220 kV侧母线的零序阻抗为: $X_E/(X_{H1}+X_{L1})$; 等值到110 kV侧母线的零序阻

抗为: $X_{L1}+X_{M1}$ 。如果根据需要将1#变压器中性点倒至2#主变, 则等值到220 kV母线的零序阻抗为: $X_E/(X_{H2}+X_{L2})$; 等值到110 kV母线的零序阻抗为: $X_{L2}+X_{M2}$ 。因此倒换中性点前后等值到220 kV母线、110 kV母线阻抗的差别仅仅为两台变压器参数的差别, 由于两合并列运行的变压器参数相差非常小, 因此两台变压器可以整定定值统一, 这样有利于各级零序保护的相互配合, 也有利于维持变电站零序阻抗的稳定。

此方式也有它自身的缺点, 当变压器某侧后备保护范围内发生故障, 越级到变压器后备保护动作时, 第一时限跳开母联开关, 将故障系统与正常运行系统初步隔离, 然后第二时限动作跳开本侧开关, 这时系统中性点失去, 需要运行人员马上采取措施, 及时恢复系统中性点。

2.2 两台变压器中性点交叉接地

当两台变压器中性点交叉接地时, 即一台变压器高压侧中性点接地、另一台变压器中压侧中性点接地, 其等值零序网络图如图2所示。

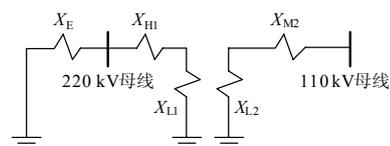


图2 两台变压器交叉接地等值零序网络图

Fig.2 Transformer equivalent of two cross-ground zero-sequence network diagram

由图2可以看出, 等值到220 kV侧母线的零序电抗为 $X_E/(X_{H1}+X_{L1})$; 等值到110 kV侧母线的零序电抗为 $X_{M2}+X_{L2}$, 这种接地方式从零序序网上将220 kV系统和110 kV系统完全隔离。在正常运行下, 220 kV侧发生接地故障, 110 kV侧不会产生零序电流; 反之, 110 kV侧发生接地故障, 220 kV侧也不会产生零序电流。这样220 kV侧和110 kV侧在故障时不能相互反应, 不能作为相互之间的后备, 对可靠隔离故障点少了一层保障。况且如果变电站只有两台变压器, 在一台变压器退出运行时, 势必要将运行变压器的220 kV侧和110 kV侧同时接地, 又回到第一种情况。

2.3 110 kV侧两台变压器接地

变压器高压侧接地, 如果只有一台中压侧接地的话, 如果发生故障, 接地侧变压器主进开关跳开, 则系统失去中性点, 如果此时系统再发生单相接地, 则继电保护装置中的零序保护不能动作, 只有等到故障发展成相间故障或者变压器中性点间隙动作跳开变压器各侧开关, 从而扩大事故停电范围, 造成

更加严重的后果。其等值零序网络图如图3所示。

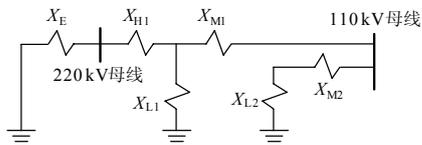


图3 110 kV侧两台变压器接地等值零序网络图
Fig.3 Two transformers grounding equivalent zero-sequence network diagram of 110 kV side

由图3等值至220 kV母线零序阻抗： $[(X_{L2}+X_{M2}+X_{M1})//X_{L1}+X_{H1}] //X_E$ ；等值到110 kV母线零序阻抗： $[(X_E+X_{H1})//X_{L1}+X_{M1}] //(X_{L2}+X_{M2})$ 。

由于中性点零序保护主要考虑各级线路和变压器之间的配合问题，考虑分支系数的影响，上述三种变压器中性点接地方式对零序回路的影响差别很大。

2.4 综合分析

(1) 同一台变压器两侧均接地的方式对220 kV、110 kV母线等值零序阻抗影响最小，运行方式灵活，其缺点是接地变压器跳开后将使得110 kV系统失去中性点，为了系统安全可靠运行，需要及时恢复系统中性点。

(2) 交叉接地的方式能有效隔离220 kV与110 kV系统间的零序电流，对220 kV系统运行非常有利。但其对110 kV母线零序阻抗影响较大。

(3) 110 kV两台变压器中性点接地的方式能有效克服上述两种方式的缺点，但其运行中方式的改变对220 kV及110 kV母线影响很大，220 kV侧中性点零序电流保护将与出线零序电流保护不配合。

综合分析我们看到，同一台变压器两侧均接地具有对220 kV、110 kV母线等值零序阻抗影响最小、中性点倒换灵活的特点。在接地变压器跳开时，只要运行人员及时将不接地变压器的中性点投入即可，因此可以满足系统稳定的要求。

3 结论

变压器中性点运行方式的选择，应根据需要和详细的计算得出。中性点不接地时应采取措施防止中性点过电压，如在变压器中性点安装避雷器和合理设置中性点间隙保护等。中性点接地时应尽量做到中性点合理分布，不使接地点数目过多，以避免零序网络过于复杂、零序保护的定值不好整定、零序保护的各段保护之间不易配合，也不能因为接地点太少而使电网接地不可靠。

只有在合理选择电网主变中性点接地运行方式的前提下，才能使零序保护充分发挥快速切除故障的作用，提高供电的可靠性，减少对设备的危害。

参考文献

- [1] 于则徐. 变压器中性点保护方式的分析[J]. 浙江电力, 2003(5): 16-44.
YU Ze-xu. Transformer Neutral Point of the Analysis of the Protection Methods[J]. Zhejiang Electric Power, 2003(5): 16-44.
- [2] 王友怀. 变压器中性点接地方式对零序保护的影响[J]. 湖北电力, 2004, 28(6): 25-27.
WANG You-huai. Grounding Transformer Neutral Point of Zero Sequence Protection[J]. Hubei Electric Power, 2004, 28(6): 25-27.
- [3] 刘治全. 主变中性点接地方式的选择[J]. 自动控制, 2008(1): 20-21.
LIU Zhi-quan. Main Transformer Neutral Grounding of the Choice[J]. Automation, 2008(1): 20-21.
- [4] 穆利晓. 10 kV 电网如何选取主变中性点接地方式[J]. 继电器, 2002, 30(6): 24-29.
MU Li-xiao. 10 kV Power Network How to Select the Main Transformer Neutral Grounding[J]. Relay, 2002, 30(6): 24-29.

收稿日期：2009-08-31； 修回日期：2009-12-31

作者简介：

曹亚旭(1981-), 男, 技师、助理工程师, 主要从事变电运行及电网系统稳定性方面的工作。E-mail: zhengzhougongdian@tom.com