

# 110 kV 变压器中性点零序保护配置方式研究

刘超, 何林海, 崔晓云, 李春生, 马晓炜

(新疆油田勘察设计研究院, 新疆 克拉玛依 834000)

**摘要:** 目前大多数的 110 kV 变电所, 只装设了中性点棒间隙而没有相应的保护。如果没有间隙保护, 当终端变压器中性点间隙抢先放电而又无法持续放电时, 带电源的中性点不接地变压器将无法脱离故障电网。针对上述问题, 在分析变压器零序保护配置原理的基础上, 对 110 kV 变压器中性点接地方式以及目前电网 110 kV 变压器零序保护设计存在的安全隐患等问题进行了探讨, 提出改善变压器零序保护配合的措施。

**关键词:** 变压器; 中性点; 零序保护

## Research on zero-sequence protection device arrangement method of neutral point of 110 kV transformer

LIU Chao, HE Lin-hai, CUI Xiao-yun, LI Chun-sheng, MA Xiao-wei

(Xinjiang Oilfield Survey and Design Institute, Karamay 834000, China)

**Abstract:** The most 110 kV substation are just installed with neutral point gap and without corresponding protection. If there is no use of protection gap, when terminal transformer neutral point gap discharge and the discharge can not be sustained, the transformer with the power of the neutral grounding will not be disconnected from the fault power grid. To solve these problems, based on the analysis of transformer zero-sequence protection configuration, modes of the 110 kV transformer neutral point grounding and security risks of the current zero-sequence protection of 110 kV transformer and other issues are discussed and the measures to improve the transformer zero-sequence protection coordination are put forward.

**Key words:** transformer; neutral point; zero-sequence protection

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2010)02-0114-04

## 0 引言

电力变压器是电力系统中的重要设备, 其安全运行关系到整个电力系统能否连续稳定地工作。其中性点与大地之间的电气连接方式, 按照运行的需要大致可分为两类: 中性点有效接地和中性点非有效接地。中性点有效接地方式包括中性点直接接地和经低电抗、低电阻接地; 中性点非有效接地方式包括中性点不接地、经消弧线圈接地和经高电阻接地。中性点接地方式的选择是一个综合性的技术问题, 涉及电网的安全可靠性、经济性; 同时直接影响电网设备的绝缘水平、过电压水平、电网供电可靠性、继电保护方式、通信干扰、人身及设备安全等方面, 是电力系统实现安全与经济运行的技术基础<sup>[1]</sup>。

在我国电力系统中, 35 kV 电压等级以下系统一般采用中性点非有效接地方式运行。110 kV 电压等级以上系统, 一般采用中性点有效接地方式运行,

在这个系统中, 为了保持系统零序阻抗不变, 至少有一点是保持接地的, 其它变压器则通过放电间隙间接接地。当外部接地短路引起过电流时, 特别是在单相接地短路故障时, 零序电流保护将动作, 跳开主变压器, 从而保护系统安全。为防止接地短路时, 中性点接地的变压器跳开后, 中性点不接地的变压器仍带接地故障继续运行, 应根据具体情况装设专用的保护装置。因此, 在研究变压器零序保护配置的基础上, 对 110 kV 变压器中性点接地方式以及目前电网 110 kV 变压器零序保护设计问题进行探讨, 提出改善变压器零序保护配合的措施具有十分重要的理论与实际意义。

## 1 基于零序电流的变压器保护原理

### 1.1 动作于零序电流的保护原理

在中性点直接接地电网中发生接地短路时, 如图 1 (a) 所示, 可以利用对称分量的方法将电流和电压分解为正序、负序和零序分量, 并利用复合序

网来表示它们之间的关系。短路计算的零序等效网络如图 1 (b) 所示, 零序电流可以看成是在故障点出现一个零序电压  $\dot{U}_{d0}$  而产生的, 它必须经过变压器接地的中性点构成回路。对零序电流的方向, 仍然采用母线流向故障点为正, 而对零序电压的方向, 是线路高于大地的电压为正。

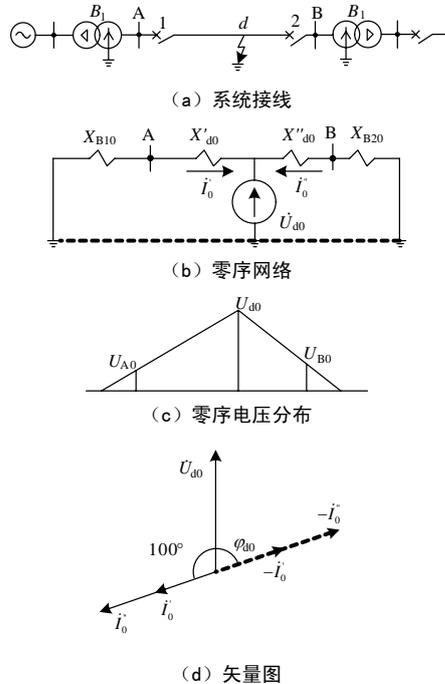


图 1 接地短路时的零序等效网络

Fig.1 Zero-sequence equivalent network of grounding short-circuit

由零序等效网络可见, 零序分量的参数具有如下特点:

(1) 故障点的零序电压最高, 系统中距离故障点越远处的零序电压越低, 中性点处为 0。零序电压的分布如图 1 (c) 所示。

(2) 由于零序电流是由  $\dot{U}_{d0}$  产生的, 因此故障线路上的实际零序电流方向是由线路流向母线的, 与规定的正方向相反。

(3) 对于发生故障的线路, 两端零序功率的方向与正序功率的方向相反, 由线路流向母线。

(4) 从任一保护安装处的零序电压与电流之间的关系看, 由于 A 母线上的零序电压  $\dot{U}_{A0}$  实际上是从该点到零序网络中性点之间零序阻抗上的电压降, 因此可表示为

$$\dot{U}_{A0} = (-\dot{I}'_0) Z_{B10} \quad (1)$$

式中:  $Z_{B10}$  为变压器 B1 的零序阻抗。该处零序电流与零序电压之间的相位差也将由  $Z_{B10}$  的阻抗角决定, 而与保护线路的零序阻抗及故障点的位置无

关。

(5) 在电力系统运行方式变化时, 如果送电线路和中性点接地的变压器数目不变, 则零序阻抗和零序等效网络就是不变的。但此时, 系统的正序阻抗和负序阻抗要随着运行方式而变化, 因此正、负序阻抗的变化将引起  $U_{d1}$ 、 $U_{d2}$ 、 $U_{d0}$  之间电压分配的改变, 因而间接地影响零序分量的大小<sup>[2]</sup>。

## 1.2 变压器中性点接地方式的安排原则

电力系统中变压器中性点接地方式的安排应尽量保持电网的零序阻抗基本不变。一般情况下, 可按下列原则处理:

(1) 变电所只有一台变压器, 则中性点应直接接地, 计算正常保护定值时, 可只考虑变压器中性点接地的正常运行方式。(2) 变电所有两台及以上变压器时, 应将一台变压器中性点直接接地运行, 当该变压器停运时, 将另一台中性点不接地变压器改为直接接地。如果由于某些原因, 变电所正常必须有两台变压器中性点直接接地运行, 当其中一台中性点直接接地的变压器停运时, 若有第三台变压器则将第三台变压器改为中性点直接接地运行。否则, 按特殊运行方式处理。(3) 双母线运行的变电所有三台及以上变压器时, 应按两台变压器中性点直接接地方式运行, 并把它们分别接于不同的母线上。若不能保持不同母线上各有一个接地点时, 作为特殊运行方式处理。(4) 为了改善保护配合关系, 当某一段线路检修停运时, 可以用增加中性点接地变压器台数的办法来抵消线路停运对零序电流分配关系产生的影响。(5) 自耦变压器和有绝缘要求的变压器中性点必须直接接地运行。

## 1.3 外部接地短路时变压器采用的保护

对中性点直接接地电网, 由外部接地短路引起过电流时, 如变压器中性点接地运行, 应装设相应的零序电流保护。零序电流保护由两段构成, 每段各带两个时限, 并均以较短的时限动作于缩小故障影响范围, 或动作于本侧断路器, 以较长的时限动作于断开变压器各侧断路器。

对自耦变压器和高、中压侧中性点都直接接地的三绕组变压器, 当有选择性要求时, 应增设零序方向元件。

当电网中部分变压器中性点接地运行, 为防止发生接地短路时, 中性点接地的变压器跳开后, 中性点不接地的变压器仍带故障继续运行, 应根据具体情况装设专用的保护装置, 如零序过电压保护、中性点放电间隙加零序电流保护等。

具体保护可按下列方式配置<sup>[3]</sup>:

三段零序过流保护 (一、二段可选方向, 保证

选择性，每段两个时限)：故障时先跳母联。中性点接地变压器若故障，零序过流动作；中性点不接地变压器若故障，间隙零序保护动作。三段不带方向，长时限延时，作为零序电流保护的总后备。

一段 1 时限，跳本侧联络开关，发动作信号；2 时限，跳本侧开关，发动作信号。

二段 1 时限，跳本侧开关，发动作信号；2 时限，跳各侧开关，发动作信号。

三段 1 时限，跳各侧开关，发动作信号。

间隙零序保护：有两部分组成，当间隙被击穿时，间隙回路的零序过流动作，延时跳闸；未被击穿时，电压过高由零序过电压动作，延时跳闸。间隙零序电流取自变压器中性点间隙 CT 电流，间隙零序电压使用三相电压计算或开口三角形。

对全绝缘变压器，中性点接地采用零序过电流保护，不接地采用零序过电压保护。

## 2 110 kV系统零序保护特点

### 2.1 常见 110 kV 系统接线与保护配置特点

如图 2 所示为一内桥接线变电所，在正常运行方式下，100 母分开关不作为 101 和 102 线路的联络元件。因此，内桥接线变电所通常只有两种运行方式：1 条线路带 2 台变压器运行或 2 条线路各带 1 台变压器运行。在 1 线带 2 变运行方式下，2 台主变只要有 1 台中性点接地即可，但必须由靠 110 kV 供电线路侧的变压器中性点接地运行。内桥接线变电所的变压器零序保护配置为：中性点零序电流保护第一时限跳 100 和 400 母分，第二时限跳本变压器；同时，变压器中性点装设棒间隙。但多数情况下并没有配置间隙 CT 以及开三角电压保护。

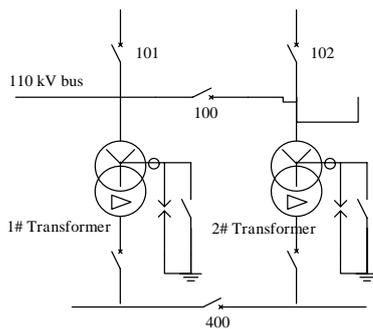


图 2 内桥接线变电所示意图

Fig. 2 Diagram of the substation with inside bridge wiring

### 2.2 110 kV 变压器中性点过电压水平计算

对于各种不同接线类型的网络，从接地故障复合序网可知，单相接地故障时，故障点稳态零序电压为

$$U_0 = \frac{U_\phi}{2Z_{1\Sigma} + Z_{0\Sigma}} \times Z_{0\Sigma} = U_\phi \times \frac{Z_{0\Sigma} / Z_{1\Sigma}}{Z_{0\Sigma} / Z_{1\Sigma} + 2} \quad (2)$$

两相接地故障时，故障点稳态零序电压为

$$U_0 = \frac{U_\phi}{Z_{1\Sigma} + 2Z_{0\Sigma}} \times Z_{0\Sigma} = U_\phi \times \frac{Z_{0\Sigma} / Z_{1\Sigma}}{2Z_{0\Sigma} / Z_{1\Sigma} + 1} \quad (3)$$

从式 (2)、(3) 可以看出，不对称接地故障时产生的零序电压取决于系统零序阻抗  $Z_0$  与正序阻抗  $Z_1$  之比。当  $Z_0 / Z_1$  增大时，接地故障时产生的零序电压亦相应增大。在电力系统中，有效接地系统的划分标准为：在各种条件下，使零序阻抗与正序阻抗之比为正值且小于 3；当  $Z_0 / Z_1$  大于等于 3 甚至  $Z_0 = \infty$  时，则成为非有效接地系统。对于某一具体电网而言，在不对称接地故障时，如果零序电流无法形成通路，亦即在该网络中所有变压器同时失去接地中性点时，这个网络就成为局部不接地系统。从式 (2) 可知，不接地系统发生单相接地故障时，故障点零序电压等于系统故障前相电压  $U_\phi$  [4-5]。

通过对不对称故障正序、零序网络进行简单的分析可知，在 110 kV 系统中，只要保证电源端变压器中性点有效接地，那么在各种条件下，零序阻抗与正序阻抗之比一定小于 3，相应的 110 kV 网络就是有效接地系统。若以  $Z_0 / Z_1 = 3$ ，系统相电压  $U_\phi = 73.0 \text{ kV}$  代入式 (2) 可以算出在单相接地故障时，故障点零序电压为  $U_0 = 43.8 \text{ kV}$ 。因此，在 110 kV 有效接地系统中，不接地变压器中性点最大对地偏移电压  $< 43.8 \text{ kV}$ ，小于分级绝缘变压器中性点的设计耐压值。若以  $Z_0 / Z_1 = 1$ ，在单相接地故障时，故障点零序电压为  $U_0 = 24.33 \text{ kV}$ 。所以， $Z_0 / Z_1$  值越小，对电网稳定运行越有利。

经分析，对 110 kV 系统，在保证变压器 110 kV 侧中性点有效接地的情况下，各 110 kV 终端变压器中性点是否接地与系统及变压器本体的安全运行没有关系。但为了减小故障时的零序电流，需要合理配置电网中的中性点直接接地点数量。

## 3 存在的问题与改进措施

### 3.1 110 kV 变压器零序保护存在的问题

在中性点有效接地系统中，变压器中性点对地偏移电压被限制在一定的水平，中性点间隙保护不会产生作用。安装间隙保护可以防止非有效接地系统中零序电压升高对变压器绝缘造成的危害。但是，依据目前的保护配置方式，只有当系统发生单相接地故障，相关的中性点直接接地变压器全部跳闸，中性点不接地变压器仍保留在故障电网中时，放电间隙才会放电，启动相应保护，间隙放电及保护存在一定程度的偶然性。此外，在间隙击穿过程中会

产生谐波,也不利于变压器匝间绝缘。因此,在单相接地故障引起零序电压升高时,由零序过电压保护完成切除变压器的任务更为合适。

对于保护变压器中性点绝缘而言,零序过电压保护也显得比间隙电流保护更重要,零序过电压保护通常和间隙电流保护一起共同构成变压器中性点绝缘保护。所以仅设置间隙电流保护而没有零序过电压保护是不够完善的,特别是当间歇性击穿时,放电电流无法持续,间隙电流保护将不起作用,中性点不接地变压器将无法脱离故障电网。

### 3.2 接地方式控制及零序保护改进措施

要确保 110 kV 系统为有效接地系统,须保证电源端变压器 110 kV 侧中性点有效接地。如果保护整定允许,可以将电源侧两台并列运行的变压器中性点同时接地。

因为带电源变压器失去接地中性点后可能成为非有效接地系统,所以对于电源端变压器或者将来可能带电源的变压器,在设计阶段就应考虑配置完整的中性点间隙保护,包括中性点零序过电流保护、中性点间隙电流保护以及母线开三角零序电压保护。在 110 kV 馈出线路上,不论并接几台变压器,在电源侧中性点接地的情况下,各终端变压器中性点可以不接地运行。在实际运行中,为防止可能出现的不安全因素,可安排其中一台中性点接地。

已经投入运行的未配置母线 PT 开三角零序电压保护以及中性点间隙电流保护的 110 kV 变电所,为避免中性点间隙抢先放电等情况,可增大原先装设的中性点棒间隙距离。

今后设计的 110 kV 变电所,高压侧宜采用三相电压互感器,并设置零序过电压保护和变压器中性点间隙电流保护。这种配置可以提供灵活的运行方式,适应未来电网结构的变化。对继电保护设备的整定,可以在中性点零序电流保护第一时限切除另一台不接地变压器,以避免停电范围扩大和放电间隙出现的偶然因素。

### 参考文献

- [1] 李福寿. 中性点非有效接地电网的运行[M]. 北京: 水利电力出版社, 1993.
- [2] 贺家李, 宋从矩, 等. 电力系统继电保护原理(增订版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [3] 王瑞. 电力变压器保护的研究(硕士学位论文)[D]. 济南: 山东大学, 2005.
- [4] 王广延. 电力系统元件保护原理[M]. 北京: 水利电力出版社, 1986.
- [5] 王维俭, 侯炳蕴. 大型机组继电保护理论基础[M]. 北京: 水利电力出版社, 1989.

收稿日期: 2009-02-15

作者简介:

刘超(1983-), 男, 工程师, 研究生, 从事现代信息理论在电力系统自动化中的应用研究; E-mail: caudy@126.com

何林海(1968-), 男, 高级工程师, 大学, 从事电力系统设计工作及电力系统继电保护等方面的研究;

崔晓云(1968-), 女, 高级工程师, 大学, 从事输配电网设计工作及变电所综合自动化等方面的研究。

(上接第 110 页 continued from page 110)

法,以便具体工作中借鉴和运用,有效提高系统运行稳定性,提高供电安全性和可靠性。

### 参考文献

- [1] 于丽敏, 徐其军, 李京. WGYC-1A 型微机式过压过激磁保护特性分析[J]. 东北电力技术, 2002(7): 48-50. YU Li-min, XU Qi-jun, LI Jing. Features Analysis on WGYC-1A Type Microcomputer Overvoltage & Overexcitation Protection[J]. Northeast Electric Power Technology, 2002(7): 48-50.
- [2] 李向宏. 发变组过激磁问题探讨[J]. 山西电力技术, 1999, (6): 23, 59. LI Xiang-hong. Over-Excitation Study of Generator-Transformer Unit[J]. Shanxi Electric Power, 1999, 89(6): 23, 59.
- [3] 耿毅. 工业企业供电[M]. 北京: 冶金工业出版社,

1985.

- [4] 解广润. 电力系统过电压[M]. 北京: 水利电力出版社, 1991.
- [5] 华田生. 发电厂和变电所电气设备运行[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000.

收稿日期: 2009-02-16; 修回日期: 2009-04-07

作者简介:

刘春玲(1980-), 女, 研究生, 从事电力系统高压试验工作, 研究方向为高压直流输电; E-mail: belling2004@sohu.com

耿卫星(1976-), 男, 研究生, 从事电力系统继电保护工作, 研究方向为电力系统稳定与控制;

刘建武(1982-), 男, 本科, 从事变电站电气设计工作, 研究方向为高压直流输电。