

变压器零序过电流保护整定中零序电流反向问题的研究

吴祎琼, 王星华, 段献忠

(华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 探讨了变压器零序过流保护整定计算中可能出现的零序电流反向问题, 分析了其产生机理及其对保护的影响, 并在此基础上对常用的变压器零序过流保护整定方法进行了改进, 计及反向零序电流的影响, 满足保护选择性的要求, 同时将改进后的变压器零序过流保护整定方法成功运用于开发的变压器保护整定计算程序中。

关键词: 电力系统; 变压器; 零序过流保护; 零序电流反向

中图分类号: TM41; TM772 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)12-0036-04

0 引言

变压器接地故障后备保护作为变压器绕组、引线、相邻元件接地故障的后备保护, 对中性点直接接地的普通变压器接地保护可由两段式零序过电流保护构成, 若高中压侧均直接接地, 高中压侧均应装设零序方向过电流保护, 方向指向本侧母线, 对中性点可能接地或不接地运行的变压器, 应配置两种接地保护, 一种接地保护用于变压器中性点接地运行状态, 通常采用 2 段式零序过流保护, 另一种接地保护用于变压器中性点不接地运行状态, 这种保护的配置与变压器的中性点绝缘水平、过电压保护方式以及并联运行的变压器台数有关, 多为零序过电压保护和零序电流电压保护。因此, 零序过电流保护是变压器接地故障后备保护的主要形式。

规程^[1]规定, I 段零序过电流保护的動作电流应与被保护侧母线上出线的零序保护 I 段或快速主保护相配合, 当有选择性要求时, 应增设零序方向元件。一般情况下, 校核動作电流是否能躲过对侧母线发生接地故障时流过保护的最大零序电流, 以确定是否需要增设零序方向元件。II 段零序过电流保护的動作电流应与相邻线路零序电流保护的后备段配合。

但是, 实际整定计算在校核侧母线接地故障流过保护的最大零序电流时, 往往忽略了反向零序电流的出现及其影响。对于零序方向保护, 当发生区外接地故障时, 流过保护的零序电流的方向与保护正向相同时, 称该零序电流为反向零序电流, 这一现象也相应地称为零序电流反向。在实际系统中, 若变电站具备两台及以上的三绕组或自耦变压器, 由于变压器参数的一致或接地方式的不一致, 可能出现零序电流反向。这时, 若保护動作电流无法

躲过该反向零序电流, 保护将存在误动的隐患。

目前, 零序电流反向问题还未给予相应的关注, 在相关文献和资料中少有提及, 规程中也未对反向零序电流的处理方法做出明确的规定。因此, 本文在分析零序电流反向问题机理的基础上对变压器零序过电流保护的一般整定计算方法提出了相应的改进方法, 以处理零序电流反向问题, 满足保护选择性的要求, 并已将该改进整定方法运用于开发的变压器保护整定计算系统中。

1 零序电流反向问题研究

零序电流反向按产生机理主要可分为由变压器接地方式不一致和由变压器参数不一致引起的两类, 但产生反向零序电流可能是两者共同作用的结果。下面对两类问题分别加以分析, 并简要论述零序电流反向对保护的影响。

1.1 变压器接地方式不一致引起的零序电流反向

一般规定当变电站的变压器多于一台时, 应将部分变压器的中性点接地, 以保持变压器中性点接地数目不变, 从而保持零序电流的分布基本不变, 因此可能由于变电站内变压器接地方式的不一致, 而导致零序反向电流的出现。

图 1 显示了由于变压器接地方式不一致而出现反向零序电流的一种典型情况。T₁ 和 T₂ 为同一变电站内的两台三绕组变压器, 按照规定, T₁ 为 Y/ Y₀/ 接法, T₂ 为 Y₀/ Y₀/ 接法, T₁ 的 110 kV 侧零序方向保护 B₁ 为待整定保护。当保护对侧母线 A 上发生接地故障时, 零序电流由故障点经 T₂ 和 T₁ 的中、低压绕组入地, 因此将会出现如图所示的反向零序电流 I_{rev}, 该反向零序电流与保护 B₁ 和 B₄ 的動作电流方向相同。

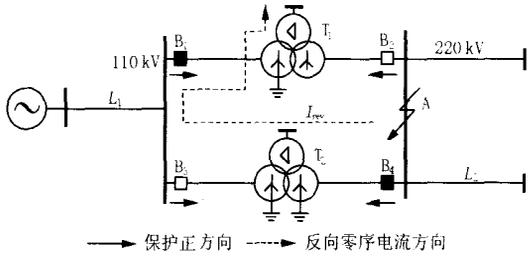


图1 零序电流反向示意图

Fig. 1 Demonstration of zero sequence current reverse

1.2 变压器参数不一致引起的零序电流反向

变电站内的多台三绕组变压器或自耦变压器即使在接地方式相同时,也可能由于变压器参数的一致而出现反向零序电流。如图2所示,变电站有三台三绕组变压器 $T_1 \sim T_3$ 并联运行,其中 T_1 和 T_2 为 $Y_0/Y_0/$ 接法, T_3 为 $Y/Y_0/$ 接法,由于历史的原因 T_1 和 T_2 参数不一致, T_1 的 110 kV 侧零序方向保护 B_1 为待整定保护。

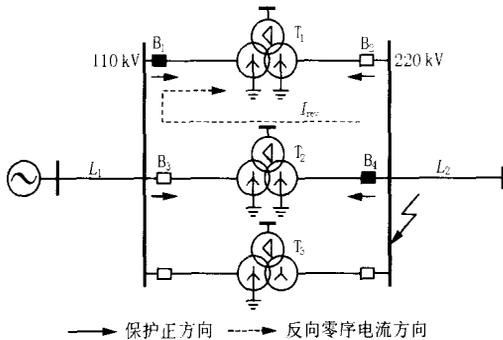


图2 零序电流反向示意图

Fig. 2 Demonstration of zero sequence current reverse

当保护对侧 220 kV 母线发生接地故障时,零序网络如图3所示,其中 y_1 为 110 kV 母线左侧系统等效零序导纳, y_2 为 220 kV 母线右侧系统等效零序导纳, $y_{11} \sim y_{13}$ 分别为 T_1 高、中、低压绕组的零序导纳, $y_{21} \sim y_{23}$ 分别为 T_2 高、中、低压绕组的零序导纳, y_3 为 T_3 中、低压绕组的零序导纳。可以证明当满足式(1)时,将出现如图2所示的反向零序电流 I_{rev} 。

$$y_{12}AB > 0 \quad (1)$$

其中:

$$A = y_{13}y_{21}y_{22} - y_{11}y_{22}y_{23} - y_1y_{11}(y_{21} + y_{22} + y_{23})$$

$$B = (y_{11} + y_{12} + y_{13})[y_1(y_{21} + y_{22} + y_{23}) + y_{22}(y_{21} + y_{23})] + y_{12}(y_{11} + y_{13})(y_{21} + y_{22} + y_{23})$$

1.3 零序电流反向对保护的影响

变压器零序方向保护作为被保护母线上出线接地故障的后备保护,在正常情况下,保护可以躲过对侧母线接地故障时流过保护的零序电流或故障电流

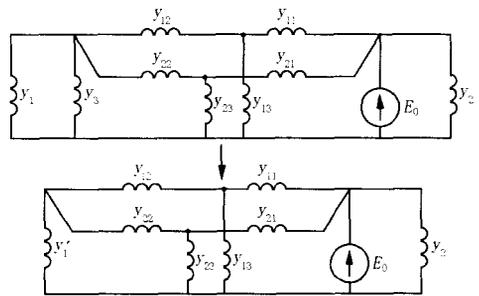


图3 零序阻抗图

Fig. 3 Zero sequence impedance network

方向与保护正向相反,故保护不存在误动的可能性。但是,在零序电流反向时,由于反向零序电流与整定保护及其对侧保护方向相同,因此若保护无法躲过该反向零序电流,则当对侧母线上出线发生接地故障时,保护存在越级动作的隐患,从而失去后备保护的选择性。

如图4所示,并联三绕组变压器 T_1 和 T_2 高、中压侧零序方向保护的正向如图所示, B_1 为待整定保护。设 B_1 的动作电流和动作时间分别为 $I_{dz,1}$ 和 $t_{dz,1}$, B_4 的动作电流和动作时间分别为 $I_{dz,2}$ 和 $t_{dz,2}$,其中可能出现 $t_{dz,1} < t_{dz,2}$ 。由于变压器运行方式或参数不一致,当保护对侧母线的出线上发生接地故障时,流过保护的零序电流可能反向,出现如图所示的反向零序电流 I_{rev} ,该反向零序电流与保护动作电流方向相同。若 B_1 无法躲过该反向零序电流, B_1 和 B_4 都会启动,但由于 B_1 的动作时间等于或小于 B_4 的动作时间,因此可能出现 B_1 先于 B_4 动作的情况,即 B_1 发生越级动作,致使变压器 T_1 失电,保护动作不满足选择性要求。

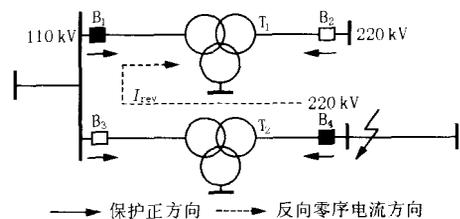


图4 保护误动隐患示意图

Fig. 4 Demonstration of relay false tripping

2 主变零序保护的改进整定计算方法

鉴于零序电流反向问题对保护选择性的影响,我们在进行上述研究的基础上,改进了一般整定方法。该整定方法在按一般整定方法计算的基础上,进一步校核保护动作电流能否躲过对侧母线接地故障流过保护的最大反向零序电流,若不能躲过,则将

继续与本变电站其他变压器的对侧主变零序保护配合。同时,在开发的主变零序保护整定计算程序中运用了改进整定方法,该程序能够自动确定可能出现零序电流反向的运行方式、故障以及配合变压器组。

在变电站的多台变压器中,并不是所有的变压器之间都会出现零序电流,如参数相同、在所有运行方式下的运行状态都相同的变压器之间就不会出现反向零序电流,因此若两台变压器之间不可能出现反向零序电流时相应保护不应该配合,以尽可能地提高保护定值灵敏度,缩短动作时间;另一方面,若两台变压器之间在正常运行方式和正常检修方式下可能出现反向零序电流,则其保护必须配合。因此,程序首先在适当的范围内进行运行方式组合^[2],轮断或改变元件的运行状态,以保证在进行较少次故障计算的基础上较准确地判断需要配合的变压器组,以确保与可能出现零序电流反向的变压器保护配合,与不可能出现零序电流反向的变压器保护不配合。

基于以上考虑,主变零序保护改进整定计算方法的主要思想为:首先计算保护与被保护母线上出线的配合定值;当本变电站具有两台及以上的三绕组或自耦变压器时,自动进行运行方式组合,计算指定整定方式和运行方式组合形成的方式下对侧母线接地故障流过保护的零序电流,将零序电流正向和反向的情况加以区分,根据零序电流反向的情况自动确定需要配合的变压器保护,形成配合变压器保护集,并在出现反向零序电流的方式故障下计算保护与配合变压器保护集中保护的配合定值,最后校核保护最终定值是否能躲过最大正向零序电流,以

确定是否需要增设零序方向元件。程序实现的基本流程如图 5 所示。

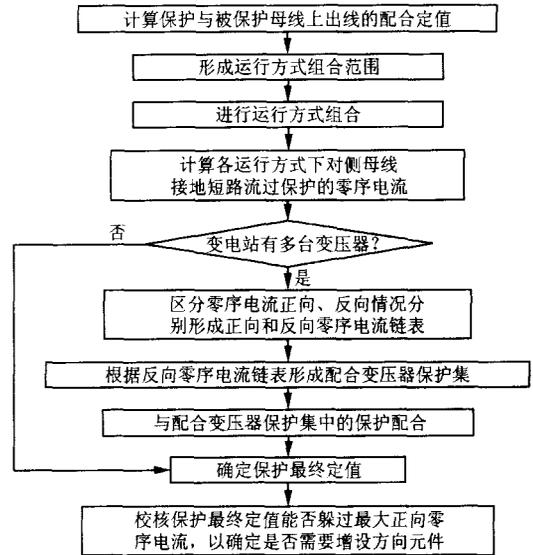


图 5 主变零序保护整定基本流程

Fig. 5 Flow chart of zero-sequence protection coordination

3 算例

以图 6 所示网络为例,各元件的正序、零序阻抗参数如图所示,系统基准容量 100 MVA,整定三绕组变压器 T₃ 的中压侧零序方向保护。以下整定计算显示了反向零序电流对保护定值的巨大影响。

1) 计算与线路 6 的配合定值:

$$I_{dz1} = K_k K_f I_{dz} = 1.1 \times 0.3667 \times 451.021 = 182.424 \text{ A}$$

$$t_{dz} = 0.5 \text{ s}$$

2) 计算保护对侧母线 12 发生接地故障流过保护的零序电流:

流过保护的最大正向零序电流: 1 847.938 A

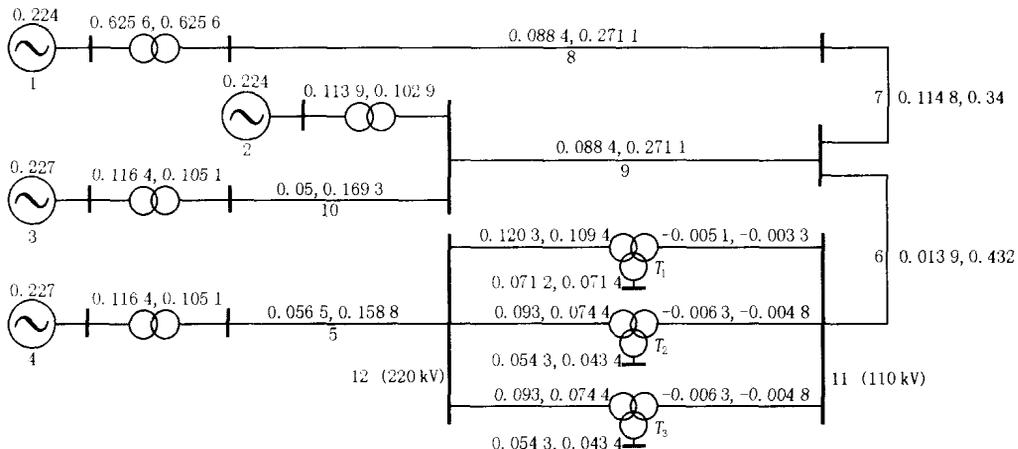


图 6 系统拓扑图

Fig. 6 Topology of a power system

流过保护的最大反向零序电流: 533.124 A

配合变压器集: T_1 、 T_2

3) 与线路配合定值无法躲过最大反向零序电流,与变压器 T_1 和 T_2 的高压侧零序保护配合:

与 T_1 配合:

$$I_{dz2} = K_{k1} K_f I_{dz} = 1.1 \times 1.0456 \times 222.215 = 255.583 \text{ A}$$

$$t_{dz} = 1 \text{ s}$$

与 T_2 配合:

$$I_{dz2} = K_{k1} K_f I_{dz} = 1.1 \times 0.8013 \times 331.315 = 192.031 \text{ A}$$

$$t_{dz} = 1 \text{ s}$$

4) 确定最终保护定值:

$$I_{dz2} = 192.031 \text{ A} \quad t_{dz} = 1 \text{ s}$$

5) 确定方向元件状态:

保护定值无法躲过对侧母线 12 发生接地故障流过保护的最大正向零序电流,需要增设方向元件。

4 结语

本文分析了主变零序保护整定计算中出现的零序电流反向问题及其原因,以及零序电流反向对保护的影响,并在此基础上对一般的主变零序保护整定方法提出了改进方案,以计及反向零序电流的影响,满足选择性的要求,该方案已在江西主变零序保

护整定计算程序中得到应用。

参考文献:

- [1] DL/T 684 - 1999,大型发电机变压器继电保护整定计算导则(Guide of Settings Calculation of Relay Protection for Large Generator and Transformer) [S].
- [2] 刘敏,石东源,柳焕章,等(LIU Min, SHI Dong-yuan, LIU Huan-zhang, et al). 线路零序电流保护计算机整定中运行方式的选择(The Decision of Operating Mode in Setting of Zero Sequence Current Relay of Line Aided by Computer) [J]. 继电器(Relay), 2000, 28(3): 15-25.
- [3] 王维俭(WANG Wei-jian). 主设备保护的几个理论和运行问题(Some Theoretic and Operating Problems for Electric Main Equipment Protection) [J]. 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 1999, 23(11): 1-5.

收稿日期: 2003-10-14; 修回日期: 2003-12-21

作者简介:

吴祎琼(1978-),女,硕士研究生,从事电力系统继电保护整定计算理论及相关软件技术研究;

王星华(1972-),男,讲师,从事电力系统故障信息系统的开发及相关软件技术的研究;

段献忠(1966-),男,教授,博士生导师,从事电压稳定、FACTS、信息化电力系统和电力市场等领域的研究。

Study of zero sequence current reverse in transformer relay coordination

WU Yi-qiong, WANG Xing-hua, DUAN Xian-zhong

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: This paper presents the issue of the zero-sequence current reverse in the coordination of transformer zero-sequence current relay and analyzes its reasons. Based on the above, an adaptation of the common coordination method for transformer zero-sequence relay is brought forward to take into account the influence of this issue. And this adapted method has been successfully applied into the transformer relay protection coordination software.

Key words: power system; transformer; zero-sequence overcurrent relay protection; zero-sequence current reverse

我国发电装机容量突破 4 亿千瓦

截至 5 月底,我国发电装机容量突破 4 亿千瓦大关,达到 40060 万千瓦。在全国电力供需矛盾紧张的背景下,我国电力工业的发展悄然迈上了新的台阶。

改革开放以来,我国电力工业不断跨上新的台阶。1987 年全国发电装机容量突破 1 亿千瓦,1995 年 3 月,装机容量突破 2 亿千瓦。这期间中国发电装机容量和发电量先后跃过法国、英国、加拿大、德国、俄罗斯和日本,到 1996 年居世界第 2 位。2000 年 4 月,全国装机容量突破 3 亿千瓦。在短短的四年后,又净增发电装机 1 亿千瓦,达到 4 亿千瓦,这是建国以来电源建设发展最快的时期。

目前由于装机容量增长速度低于同期国民经济及电力需求增长速度,导致部分地区在充分利用现有发电设备能力的情况下,电力供应依然紧张。但从全国范围来看,电源建设的快速发展为有效缓解电力供应紧张局面作出了重要贡献,全国发电装机容量顺利跨上 4 亿千瓦新台阶,为今后进一步发展奠定了坚实的基础。

据有关部门预测,未来 15 年我国须新增 5 亿千瓦以上的发电装机才能满足全面建设小康社会的需要。这意味着未来几年我国电源建设将进入更加快速的发展阶段。