

区外故障变压器差动保护误动原因分析及对策

姬希军¹, 胡宝峰², 刘以军¹, 姬希娜¹

(1. 许继电气公司, 河南 许昌 461000; 2. 河北省高阳县供电公司, 河北 高阳 071500)

摘要: 该文介绍了变压器差动保护的原理, 通过对区外故障时造成变压器差动保护误动原因的分析, 总结了一些常见的能造成保护误动的诱因, 提出了变压器差动保护避免区外故障误动作的防范措施, 来提高供电的可靠性和稳定性。区外故障时引起变压器主保护的误动的原因是多方面的, 该文就区外故障变压器差动保护误动原因的分析处理及防范提出一些思路。

关键词: 差动保护; 不平衡电流; 区外故障; 防范

Analysis and solution of misoperation of transformer differential protection when external ground fault occurs

Ji Xi-jun¹, HU Bao-feng², LIU Yi-jun¹, Ji Xi-na¹

(1. XJ Electric Corporation, Xuchang 461000, China; 2. Gaoyang Power Supply Company, Gaoyang 071500, China)

Abstract: This paper introduces the principle of transformer differential protection. Through analyzing the causes of misoperation of transformer differential protection when external ground fault occurs, it summarizes some common inducements of misoperation, and brings forward some preventing measures to avoid the misoperation to improve the dependability and stability of power supply. Multi-factor will result in misoperation, and this paper presents some ideas on how to treat and prevent the misoperation of transformer differential protection when external ground fault occurs.

Key words: differential protection; unbalanced current; external ground fault; preventing

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2008)04-0075-04

0 引言

在电力系统中, 变压器是十分重要的供电元件, 它的故障将对供电的可靠性和电网系统稳定运行带来严重的影响。同时, 大容量的电力变压器也是十分贵重的设备。因此, 必须根据变压器的容量和重要程度, 考虑装设性能良好、工作可靠的继电保护装置。我们常常把差动保护作为变压器的主保护, 对变压器的运行状况进行监视。在变压器内部发生故障时, 差动保护可靠的动作切除有故障的变压器; 在变压器外部发生故障时, 能够正确的躲过区外故障而不误动作。然而, 在实际的运行中, 由于这样或那样的原因, 譬如电气回路的接线错误, 以及定值的整定计算不符合规程等等, 区外故障时变压器差动保护误动作的情况时有发生。如何使变压器差动保护可靠躲过区外故障, 提高正确动作率, 对保证供电的可靠性和电网系统运行的稳定性, 具有非常重要的作用。

1 变压器差动保护原理阐述与分析

1.1 基尔霍夫定律在变压器差动保护原理中的应用

电力变压器是电能传输的重要环节, 多个不同电压等级的电网系统通过变压器互联, 传输电能。根据基尔霍夫定律, 对于任何一个节点, 流进和流出的总电流和为零, 即公式:

$$\sum_{i>1}^{i=n} i = i_1 + i_2 + \dots + i_n = 0。 \text{ 如果把变压器视为一个节点, 假设有 } n \text{ 个不同的电压等级联结在变压器上, 各侧电流分别为 } i_1, i_2, \dots, i_n, \text{ 将电压等级的差异作为 } K \text{ 考虑进去, 变压器正常传输电能时则有公式,}$$

如果变压器内部发生短路故障时, 出现较大的不平衡电流, 平衡就会打破, 即变为公式

$$\sum_{i>1}^{i=n} i' = i_1 * k_1 + i_2 * k_2 + \dots + i_n * k_n = 0。$$

如果变压器内部发生短路故障时, 出现较大的不平衡电流, 平衡就会打破, 即变为公式

$$\sum_{i>1}^{i=n} i' = i_1 * k_1 + i_2 * k_2 + \dots + i_n * k_n \neq 0。$$

如果变压器外部发生短路故障时, 仍然正常输电能, 突出的特征是出现较大的穿越型电流, 不会出现不平衡电流, 即公式

$$\sum_{i=1}^{i=n} i' = i_1 * k_1 + i_2 * k_2 + \dots + i_n * k_n = 0。$$

变压器差动保护正是根据基尔霍夫定律来实现其保护变压器原理的, 只不过将电压等级、流互变比和接线系数作为系数 K 而已, 仍然应用上述公式。大多数运行的变压器一般联结 2~3 个电压等级, 其联结组别分别为 Y/ Δ -11, Y/Y/ Δ -12-11。上述公式可简化为 $i' = i_1 * k_1 + i_2 * k_2 = 0$ 或 $i' = i_1 * k_1 +$

$$i_2 * k_2 + i_3 * k_3 = 0$$

1.2 比率制动概念的引入

变压器在正常负荷状态下, 电流互感器的误差很小。这时, 差动保护的差回路不平衡电流也很小, 但随着外部短路电流的增大, 电流互感器就可能饱和, 误差也随之增大, 这时的不平衡电流也随之增大。当电流超过保护动作电流时, 差动保护就会误动, 因此, 为了防止变压器区外故障发生时差动保护误动作, 需要引入一种手段, 使其动作特性: 动作电流值将随着不平衡电流的增大而按比例增大, 并且比不平衡电流增大的还要快, 这样误动就不会出现。因此, 在差动保护中就引入了比率制动的这一概念, 它以差动电流作为动作量, 外部短路电流作为制动量。当外部短路电流增大时, 制动电流也随之增大, 使继电器的动作电流值也必须相应增大, 从而有效地防止了变压器区外故障发生时差动保护误动作。主变差动保护制动特性曲线如图 1。

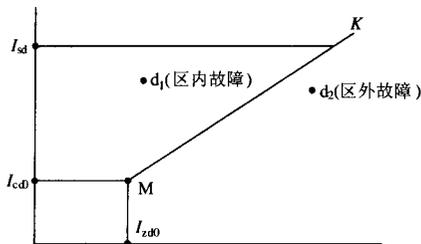


图 1 变压器差动保护区外故障时比率制动关系图

Fig.1 Ratio braking curve for transformer differential protection when external ground fault occurs

引入比率制动手段后, 对于发生的变压器区外故障 d_2 , 即使 $i_{cd} \geq i_{cd0}$, 但 $i_{cd} < i_{cd0} + k * (i_{zd} - i_{zd0})$, 差动保护不会误动作。

1.3 区外故障时造成差动保护动作的诱因分析

虽然比率制动差动保护可以有效躲避区外故障, 但在实际运行中, 由于这样或那样的因素存在,

变压器区外故障时保护误动作的现象时有发生。为什么保护会误动呢, 归根结底, 区外故障时变压器的差动保护回路中, 出现了许多非故障性质的不平衡电流, 致使

$$\sum_{i=1}^{i=n} i' = i_1 * k_1 + i_2 * k_2 + \dots + i_n * k_n \neq 0, \text{ 直接影响}$$

该保护的動作性能。种种诱因的存在, 使差动保护原理判据对区外故障的判断出现了偏差, d_2 (区外故障) 点发生偏移进入动作区, 转变成 d_1 (区内故障) 点, 满足条件:

$$i_{cd} \geq i_{cd0}, \quad i_{cd} \geq i_{cd0} + k * (i_{zd} - i_{zd0})$$

差动保护就会动作, 从而出现区外故障时差动保护误动作现象。

2 区外故障时能够造成差动保护动作的诱因

2.1 整定值计算的因素

因整定值有误造成变压器区外故障差动保护误动事故, 每年都有一定比例。主要表现为:

1) 平衡系数取错

整定值计算因素中最常见的是平衡系数取错。由于电流互感器实际变比与计算变比差异会产生不平衡电流, 常规差动继电器需采用平衡线圈补偿, 微机保护则采用平衡系数补偿。对于平衡系数的计算, 不同的厂家的设备其计算方法略有差异, 譬如:

计算平衡系数需要考虑接线系数, 有的厂家设备需要考虑接线系数 $\sqrt{3}$, 但有的厂家设备不考虑接线系数 $\sqrt{3}$ 。如果简单的以一个厂家设备的平衡系数的计算方法来整定计算其它厂家设备, 有可能出现错误, 使区外故障时差动保护中出现比较大的不平衡电流。

2) 比率制动系数不合适

比率制动系数的计算有一定的规程。如果不符合规程计算时, 不合适的比率制动系数定值, 对发生区外故障时差动保护正确动作效果有很大的影响。

3) 在设备改造增容后, CT 等设备参数发生改变, 定值计算仍按原参数, 出现计算错误。

2.2 电流回路接线因素

电流回路接线对保护的影响也很重要, 可以说是差动保护中最薄弱的环节, 也是最容易出问题的一个地方。在施工或检修过程中, 由于人为的因素, 常常会出现一些接线错误, 一个小小失误往往引起致命性的严重后果, 据相关部门统计因电流回路接线错误导致变压器区外故障差动保护误动的事故最多。主要表现为:

1) CT 开路。线头松动或检修后漏接线都可以引起 CT 开路。

2) CT 抽头变比取错。譬如, 施工中或检修后恢复时把 300/5 的抽头取错为 200/5。

3) 电流回路出现两点接地现象, 致使流入保护中电流出现分流。

4) CT 的相序、极性有误或联接组别不匹配。主要是施工安装人员凭经验不按图纸施工所致。

2.3 CT 饱和因素

变压器各侧的电压等级不一致, 所以各侧所选用的 CT 变比不一致, 当区外发生故障时, 各侧 CT 所表现的暂态特性也不一致, 由于不一致, 不平衡电流流入保护, 从而差动保护有可能误动。

1) 差动保护如果一侧采用 P 级保护 CT, 而另一侧采用测量 CT, 特别是发生近端区外故障时, 由于一侧 CT 饱和会产生较大的不平衡电流。

2) 炼钢厂特殊用户时电炉负荷启动电流较大, 采用的 CT 抗饱和能力不够, 致使保护出现不平衡电流。

2.4 设备性能因素

设备性能因素也是一个不可忽视的因素, 因设备性能出现问题造成变压器区外故障差动保护误动, 也有一定的比例。

1) 保护设备的 AD 模块、电源模块等出现问题。

2) CT 设备绝缘降低, 流入保护中某相电流出现分流现象。

2.5 变压器分接头的调整因素

电力系统中带负荷调整变压器分接头是调节系统电压的重要手段。改变调压档位实际上就是改变变压器的变比。而差动保护已按照某一变比调整好, 当分接头改换时, 就会产生一个新的不平衡电流流入差动回路。在电压调整范围宽的情况下, 如果差动值整定过小, 也可以引起保护误动。

2.6 鼠害

笔者曾分析处理过一起变压器区外故障差动保护误动事故, 就是因鼠害引起的。最后查明原因为运行单位在增容施工过程中, 收工时没把增容盘柜的电缆堵板封好, 造成老鼠爬进主变保护柜, 啃断某相差流回路所致。

2.7 其它因素

其它因素主要是某些特殊运行工况下引起的差动保护误动。譬如:

1) 单电源进线区外瞬时故障切除后重合闸时, 由于剩磁的存在, 电压恢复时产生大小不等的恢复性涌流, 导致差动保护误动。

2) 特殊性负载如容性或感性负载存在, 致使各侧短路电流相位发生偏移, 产生更大的差流。

3 差动保护躲区外故障的防范措施

3.1 整定值计算的因素的防范对策

1) 严格按整定规程计算, 只有符合规程, 才能减少定值整定错误。

2) 对各个厂家保护设备特性需要认真地了解, 计算出与之相符的整定值。

3) 定值整定要根据设备参数的变化及时修正。

4) 在进行继电保护定值计算时, 差动定值不宜过低, 一般整定在 $0.5I_n$ 或以上。

3.2 电流回路接线因素的防范对策

1) 在施工或检修过程中, 不凭经验一切按图纸工作, 认真检查和试验。

2) 在施工或检修后, 专人验收, 做好收尾工作, 杜绝出现 CT 开路、变比取错、相序、极性有误等现象。

3.3 CT 饱和因素的防范对策

1) 对于电流互感器 CT 的选型需考虑或注意到电流互感器 CT 的暂态饱和问题, 如在高压系统或大容量电力设备高压侧普遍设计采用 TPY 级电流互感器, 以及选用带小气隙的 PR 级电流互感器等。

2) 另一方面要求保护装置本身具有一定的抗电流互感器饱和的能力, 引入电流波形识别法、谐波含量判别法、时差判别法等, 加强 CT 暂态饱和的判别和抑制。

3) 变压器两侧要采用特性一致的 P 级 CT。

4) 有炼钢厂特殊用户时采用普通抗饱和能力强的 CT, 或者采取限流电抗器、使用变频电机等措施。

5) 定值整定要根据设备参数的变化及时修正。

3.4 设备性能因素的防范对策

1) 一方面安装调试过程中把每一环节工作做细, 按照检验条例和有关规程规定, 严把整组试验关。

2) 一方面加强对设备的定检, 发现问题, 及时处理。

3) 采用先进的新原理保护设备, 提高保护设备硬件的采样精度和计算准确度等。

3.5 变压器分接头的调整因素的防范对策

调分接头时不可能再用重新选择平衡线圈匝数的方法来消除这个不平衡电流, 这是因为变压器的分接头是经常在改变, 而差动保护的电流回路在带电时是不可能进行操作的。因此, 对由此产生的不平衡电流, 通常是具体情况提高保护动作的整

定值加以克服。

3.6 鼠害因素的防范对策

做好防鼠工作，特别是对于工期较长的增容改造，每天工作结束时，把盘柜电缆入口用堵板挡好，防止老鼠爬入保护盘柜。

3.7 其它因素的防范对策

引入新技术，采用先进的新原理保护设备，提高保护对区外故障的判断和抑制能力。

4 结束语

综上所述，在区外故障时引起变压器主保护的误动的原因是多方面的，本文仅就区外故障变压器差动保护误动原因的分析处理及防范提出一些思路。只有根据不平衡电流产生的原因采取相应的措施来尽量减少不平衡电流，同时通过对差动保护定值的科学整定，才能使变压器差动保护既能够躲开不平衡电流的影响，又可以保证其有足够的可靠性和灵敏性。

(上接第 53 页 continued from page 53)

参考文献

- [1] 叶斌. 电力电子应用技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
YE Bin. Electric Power Electron Application Technology[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006.
- [2] 苏奎峰, 吕强, 耿庆锋, 等. TMS320F2812 原理与开发[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
SU Kui-feng, LV Qiang, GENG Qing-feng, et al. The Principle and Development of TMS320F2812[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005.
- [3] 赵争鸣, 刘见证, 孙晓瑛, 等. 太阳能光伏发电及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
ZHAO Zheng-ming, LIU Jian-zheng, SUN Xiao-ying, et al. The Photovoltaic Generation and Application of the

(上接第 74 页 continued from page 74)

- [2] 牛晓民, 王晓彤, 等. 超高压串联补偿输电线路的潜供电流和恢复电压[J]. 电网技术, 1998, 22(9): 9-12.
NIU Xiao-min, WANG Xiao-tong, et al. Secondary Arc Current and Recovery Voltage of Series Compensated EHV Transmission Line [J]. Power System Technology, 1998, 22 (9): 9-12.
- [3] 钟胜. 与超高压输电线路加装串补装置有关的系统问题及其解决方案[J]. 电网技术, 2004, 28(6): 26-30.
ZHONG Sheng. Problems Caused by Adding Series Compensation Devices to EHV Transmission System and Their Solution[J]. Power System Technology, 2004, 28 (6): 26-30.
- [4] 贺建国, 邓军波, 等. 阳城 500 kV 输电工程中串补装置的工作条件[J]. 高电压技术, 2001, 27(6): 34-36.

参考文献

- [1] 王梅义. 电网继电保护应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999.
- [2] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护典型故障分析[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000.
- [3] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1995.
- [4] 贺家李. 电力系统继电保护原理(增订版) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

收稿日期: 2007-11-07; 修回日期: 2007-11-26

作者简介:

姬希军(1970-), 男, 本科, 工程师, 从事电力系统继电保护产品设计、调试和事故分析; E-mail: jixijun@xjgc.com

胡宝峰(1976-), 男, 本科, 工程师, 从事电力计量、降损技术的研究与管理工作;

刘以军(1975-), 男, 本科, 工程师, 从事电力系统继电保护产品设计、调试和事故分析。

Solar Energy[M]. Beijing: Science Press, 2005.

- [4] 郑诗程, 丁明, 苏建徽, 等. 户用光伏并网发电系统的研究和设计[J]. 电力电子技术, 2005, (1): 55-57.
ZHENG Shi-cheng, DING Ming, SU Jian-hui, et al. Research and Design of Residential Photovoltaic Grid-connected Generation System[J]. Power Electronics, 2005, (1): 55-57.

收稿日期: 2007-05-23; 修回日期: 2007-11-06

作者简介:

吴玉蓉(1975-), 女, 讲师, 主要研究方向为电能质量分析和光伏发电; E-mail: wyr9130999@yahoo.com.cn

张国琴(1977-), 女, 讲师, 主要研究方向为数字信号处理与电力电子技术。

HE Jian-guo, DENG Jun-bo, et al. Working Condition of Fixed Series Compensation in Yangcheng 500 kV Transmission System[J]. High Voltage Engineering, 2001, 27 (6): 34-36.

收稿日期: 2007-07-25; 修回日期: 2007-10-08

作者简介:

何尔文(1975-), 男, 硕士, 主要从事超高压运行管理及变电设备维护及试验管理工作; E-mail: darwin413@126.com

吴蓉(1975-), 女, 工程师, 主要从事电力科技管理工作。

李健(1982-), 男, 硕士, 主要从事电力系统继电保护工作。