

新型变压器零序差动保护方案设计

罗小莉,赵安国,郭晓冬

(国网南京自动化研究院,江苏 南京 210003)

摘要:从保护方案设计和保护逻辑两方面详细论述了一种新型的变压器零序差动保护方案。方案设计中引入了外部故障异步区分、方向判据及二次谐波闭锁判据来可靠区分区内、区外故障,并介绍了差动电流、制动电流的选取。经试验证明该方案安全可靠,能够充分发挥零序差动保护对接地故障灵敏度高的优势。目前,该方案已实际应用于某变压器的保护装置中。

关键词:变压器;零序差动保护;保护逻辑

中图分类号: TM 772

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2007)07-0119-03

0 引言

变压器零序差动保护是变压器主保护之一。国外对该保护的使用主要是应用在中性点经高阻接地的变压器星型侧,由于它仅反应接地故障,又被称为受限制的接地故障保护^[1-5]。长期以来,国内对该保护的使用存在较大争议。主张使用该保护的学者认为其灵敏度高,可消除变压器在靠近中性点附近相间差动保护对接地故障的死区,同时具有不受涌流和励磁电流影响的优点^[6]。主张慎重使用该保护的学者认为,零序差动保护只在变压器绕组靠近中性点(占整个绕组 2%)附近发生接地故障,相间差动保护灵敏度不足时才能体现出一定的优越性,但是,由于变压器中性点附近本身电压较低,不易发生接地故障,而且该保护也不能保护匝间短路、相间短路等,因此,安装零序差动保护的必要性不是很大^[5,7]。

综合以上观点,笔者认为:一方面变压器零序差动保护有其独特优点,它能够最大范围地保护接地绕组的接地故障,能消除相间差动保护对中性点经高阻接地的变压器在靠近中性点 20%~30%区域内的死区。由于它不受变压器磁路的影响,因此对空载合闸励磁涌流、外部故障切除造成的涌流以及过励磁电流等都不敏感,同时还受有载调压的影响,故可将其作为相间差动保护的有益补充。另一方面,在积极利用该保护优点的同时,必须将安全性放在首位,限制其保护范围^[8],这可从保护判据上采取积极有效的措施来降低误动几率,提高安全性。

基于以上 2 个方面的考虑,设计了一种变压器零序差动保护实用方案,从保护方案设计、保护逻辑以及试验结果 3 个方面加以详述。

1 方案设计

变压器零序差动保护在正常工作中感受到的外部故障远多于内部接地故障,保护在外部接地故障、

外部相间故障以及外部故障切除时应可靠,不误动。外部故障及外部故障切除时的分析非常复杂,可能遇到的情况包括断路器分闸不同期及某些电流互感器(TA)仍处在高度饱和状态等。为了可靠区分区内、区外故障,方案设计中引入了外部故障异步区分、方向判据以及二次谐波闭锁判据。

1.1 外部故障异步区分

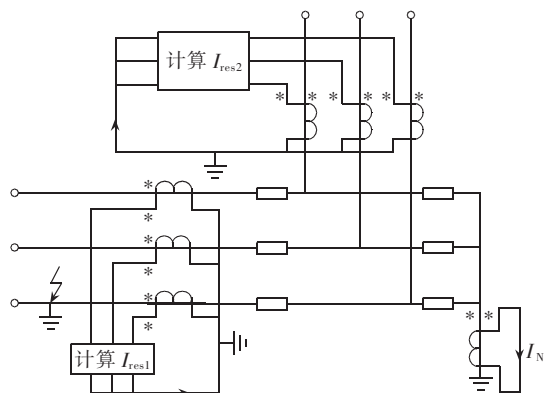
在发生外部接地故障时,首先中性点电流增加,随着故障的发展,当某些 TA 发生饱和时,会出现较大的差电流。因此,如果中性点电流剧增的同时差电流比较小,就认为是发生了外部接地故障;如果差电流和中性点电流同时出现,就不再判别区外故障。这种异步区分方法能够正确判别 TA 饱和的前提是:故障开始 4 ms 内无 TA 饱和出现。

如果判定为区外故障,零序差动保护的動作条件将受到限制,只有中性点电流大于 0.5 p.u. 才允许保护动作跳闸,这个条件直到中性点电流小于 50% 的零序启动电流 I_{dmin} 才解除。

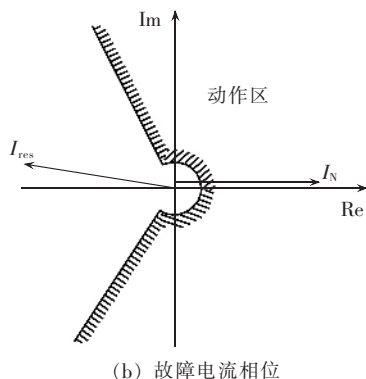
1.2 方向判据

变压器发生区内和区外故障时,其电流分布具有不同的特征,图 1、2 示出了自耦变的情况。

图中 I_{res} 表示自产零序电流,即 $I_{res}=I_{AH}+I_{BH}+I_{CH}+I_{AM}+I_{BM}+I_{CM}$, I_N 表示从中性点侧 TA 所取得的电流。图 1 示出了区外故障时的电流分布情况,理论上 I_{res}



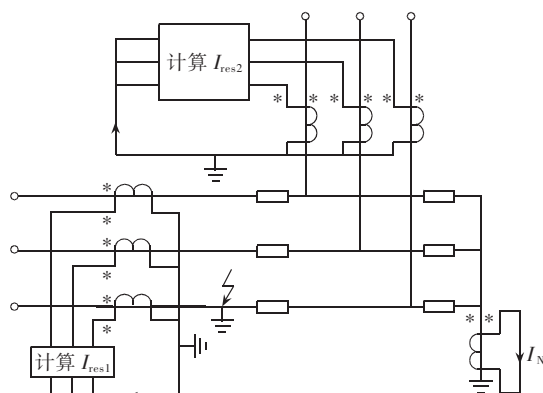
(a) 故障电流分布



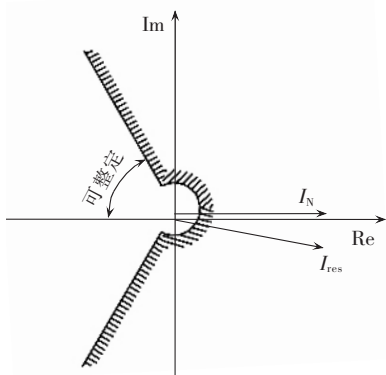
(b) 故障电流相位

图 1 自耦变区外故障电流分布及相位关系

Fig.1 Current distribution and phase relationship of autotransformer external fault



(a) 故障电流分布



(b) 故障电流相位

图 2 自耦变区内故障电流分布及相位关系

Fig.2 Current distribution and phase relationship of autotransformer internal fault

和 I_N 大小相等,方向一致。图 2 示出了区内故障时的电流分布情况,此时故障点的接地电流由 2 部分组成,一部分流向变压器母线即 I_{res} ,另一部分从变压器的中性点流向大地即 I_N 。理论上,如果短路点两侧的零序阻抗相等,则 I_{res} 和 I_N 将大小相等,方向相反。由图 1、2 可见,发生区内和区外故障,中性点电流 I_N 具有相同的方向,都是流入大地,故可将其作为参考来区分区内和区外故障。

方向判据存在整定角度问题,若将继电器的动作特性角取为 180° ,考虑一定裕度,可将继电器的动作角整定在 $60^\circ \sim 90^\circ$,一般整定在 75° 可满足要求。

方向判据只有在 $I_{res} > 0.03 \text{ p.u.}$ 时才投入,小于

该值时则解除方向判据的闭锁。该判据是一个弱判据,只有方向表明是明确的区外故障时,才闭锁零序差动的输出。

1.3 二次谐波闭锁判据

TA 的电磁暂态特性不同会造成较大差流,变压器开关侧 TA 由于直流分量的影响会存在饱和现象,而中性点 TA 正常运行电流较小,饱和的可能性也较小,一旦该 TA 饱和,将导致较大差流的产生。通过分析中性点电流 I_N 的二次谐波含量,可以判别中性点侧 TA 是否出现饱和。零序差动保护在特定的时间窗投入此闭锁判据,可以防止中性点侧 TA 饱和造成的保护误动。

1.4 差动电流和制动电流的选取

方案设计选取各侧零序电流的相量和作为零序差动保护的差动电流,双圈变和自耦变的差动电流分别如式(1)(2)所示:

$$I_d = |I_A + I_B + I_C + I_N| \quad (1)$$

$$I_d = |I_{AH} + I_{BH} + I_{CH} + I_{AM} + I_{BM} + I_{CM} + I_N| \quad (2)$$

式(1)中 I_A 、 I_B 、 I_C 分别表示双圈变高压侧 A、B、C 三相电流; I_N 表示中性点电流。式(2)中 I_{AH} 、 I_{BH} 、 I_{CH} 分别表示自耦变高压侧 A、B、C 三相电流; I_{AM} 、 I_{BM} 、 I_{CM} 分别表示自耦变中压侧 A、B、C 三相电流; I_N 表示中性点电流。

制动电流的选取是零序差动保护的一个重要问题。常用的双圈变制动电流取高压侧三相电流的最大值,即

$$I_r = \max\{|I_A|, |I_B|, |I_C|\} \quad (3)$$

自耦变制动电流选取公式如下:

$$I_r = \max\{|I_{AH} + I_{CM}|, |I_{BH} + I_{AM}|, |I_{CH} + I_{BM}|\} \quad (4)$$

文献[4]比较详细地分析了传统制动电流的缺陷,有鉴于此,本方案精心选取了制动电流。双圈变和自耦变的制动电流分别如式(5)〔5〕(6)所示:

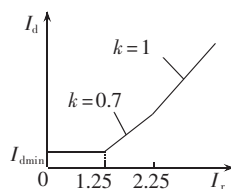
$$I_r = \max\{|I_A|, |I_B|, |I_C|, |I_N|\} \quad (5)$$

$$I_r = \max\{|I_{AH}|, |I_{BH}|, |I_{CH}|, |I_{AM}|, |I_{BM}|, |I_{CM}|, |I_{AH} + I_{AM}|, |I_{BH} + I_{BM}|, |I_{CH} + I_{CM}|, |I_N|\} \quad (6)$$

式(5)(6)中各量物理含义同式(1)(2)。方案所选取的零序差动保护制动电流公式相比于式(3)(4),具有区内单相接地故障灵敏度相对高的优点。

1.5 动作特性方程

设计中将零序差动保护的作用定位于相间差动保护的有益补充,这需把安全性放在首位〔1〕。设定只有当中性点电流 $I_N \geq 0.5 I_{dmin}$ 时,才启动零序差动保护的计算。零序差动依然使用比率制动原理,式(7)为其动作方程,制动特性曲线如图 3 所示。

图 3 零序差动比率制动特性
Fig.3 Ratio restraint characteristics of zero-sequence differential protection

$$\begin{aligned} I_d &> I_{dmin} & I_r &< 1.25 \\ I_d &> I_{dmin} + 0.7(I_r - 1.25) & I_r &\in [1.25, 2.25) \\ I_d &> I_{dmin} + I_r - 1.55 & I_r &\in [2.25, \infty) \end{aligned} \quad (7)$$

2 保护逻辑

下面是整个方案保护逻辑。

- a. 如果 $I_N < 0.5 I_{dmin}$, 退出零序差动保护计算。
- b. 如果 $I_N \geq 0.5 I_{dmin}$, 计算零序差动保护制动电流。
- c. 计算差动电流。
- d. 如果满足动作方程(5), 开始计数。
- e. 如果计数为 0, 而 $I_N > 0.5 \text{ p.u.}$, 进入外部故障判别。
- f. 若计数大于 0, 且自产零序电流大于 0.03 p.u. , 启动方向判据。若方向出现外部故障特征, 闭锁零序差动保护。当自产零序电流小于 0.03 p.u. 时不进行方向计算。
- g. 在特定计算窗计算 I_N 中二次谐波含量。当 $I_{2nd}/I_{1st} > 60\%$ 时闭锁零序差动保护。
- h. 若动作条件满足, 延时 10 ms 跳闸。

3 试验结果

采用所提出的零序差动保护方案的变压器保护已制造出样机, 经过动模试验和现场试验后投入试运行^[9]。试验证明该零序差动保护在各种空载投入的涌流、变压器过励磁以及严重外部故障情况下不会误动作, 在绕组短路接地情况下零序差动保护动作迅速。在现场试运行中未发生误动和拒动情况。

4 结语

在充分理解国内业界对变压器零序差动保护使用存在不同观点的基础上, 提出了一种实用的零序差动保护方案。该方案针对零序差动保护在外部故障及外部故障恢复时差电流较大、易引起保护误动的问题, 引入了外部故障异步区分、方向判据及二次谐波闭锁判据, 以提高零序差动保护的可靠性。最后, 通过试验验证保护逻辑合理可行。目前, 该保护逻辑方案已实际应用于某变压器保护装置中。

参考文献:

[1] KASZTENNY B, SEVOV L, JAQUES A. New algorithm for low

- impedance restricted earth fault protection [C] // Eighth IEE International Conference on Developments in Power System Protection. [S.l.]: IEE, 2004: 372-375.
- [2] BERTRAND P, GOTZIG B, VOLLET C. Low impedance restricted earth fault protection [C] // IEE Seventh International Conference on Developments in Power System Protection. [S.l.]: IEE, 2001: 479-482.
- [3] KOJOVIC L A, DAY T R, CHU H H. Effectiveness of restricted ground fault protection with different relay types [C] // Power Engineering Society General Meeting. [S.l.]: IEEE, 2003: 13-17.
- [4] SUTHERLAND P E. Application of transformer ground differential protection relays [C] // Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference. [S.l.]: IEEE, 1999: 2-6.
- [5] 朱声石. 变压器零序差动保护的讨论 [J]. 电力自动化设备, 2003, 23(10): 5-7.
ZHU Sheng-shi. Discussion on transformer zero-sequence current differential protection [J]. Electric Power Automation Equipment, 2003, 23(10): 5-7.
- [6] 王维俭. 再谈 220 kV 及以上大型变压器装设零序差动保护的必要性 [J]. 电力自动化设备, 2003, 23(4): 1-5.
WANG Wei-jian. Necessity of zero-sequence differential protection for large-sized transformer [J]. Electric Power Automation Equipment, 2003, 23(4): 1-5.
- [7] 朱声石. 变压器绕组短路接地故障的保护 [J]. 电力自动化设备, 2002, 22(8): 1-3.
ZHU Sheng-shi. Protection on transformer winding grounding fault [J]. Electric Power Automation Equipment, 2002, 22(8): 1-3.
- [8] 张项安, 单强, 张弦. 变压器零序差动保护的几个问题 [J]. 继电器, 2005, 33(15): 13-17.
ZHANG Xiang-an, SHAN Qiang, ZHANG Xuan. Several problems on zero-sequence differential protection for transformer [J]. Relay, 2005, 33(15): 13-17.
- [9] 王祖光, 任杰, 仇新宏, 等. 变压器谐波闭锁差动保护新判据 [J]. 电力系统自动化, 2006, 30(14): 50-55.
WANG Zu-guang, REN Jie, QIU Xin-hong, et al. New criteria for harmonic blocking differential protection of transformers [J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(14): 50-55.

(责任编辑: 李 玲)

作者简介:

罗小莉(1964-), 女, 上海人, 高级工程师, 硕士, 从事电力系统自动化研发工作;

赵安国(1976-), 男, 黑龙江双城人, 工程师, 硕士, 从事主设备保护研发工作;

郭晓冬(1978-), 男, 江西赣州人, 工程师, 硕士, 从事电保护研发工作。

Scheme design of transformer zero-sequence differential protection

LUO Xiao-li, ZHAO An-guo, GUO Xiao-dong

(Nanjing Automation Research Institute, Nanjing 210003, China)

Abstract: A zero-sequence differential protection for transformer is discussed in scheme design and protective logic. Asynchronous detection of external fault, direction criterion and the second harmonic blocking criterion are used in scheme design to properly distinguish the external faults from the internal faults. The selection of the differential current and the restraint current is introduced. Experiments prove its security and reliability, bringing the high sensitivity of zero-sequence differential protection to earthing fault into full play. The new scheme has been applied in one transformer protection equipment.

Key words: transformer; zero-sequence differential protection; protective logic