

变压器比率差动保护原理及校验方法

丁冷允¹, 胡晶晶²

(1. 扬州供电公司继保班, 江苏 扬州 225002; 2. 重庆大学高电压与电工新技术教育部重点实验室, 重庆 400044)

摘要: 在 Y/Y/Δ 变压器微机保护现场调试过程中, 由于保护人员对变压器差动保护原理及保护装置补偿原理的理解存在偏差, 比率差动曲线的验证往往成为调试的难点。针对这一问题, 本文深入浅出地分析了变压器微机差动保护原理并总结了变压器微机保护装置普遍采用的两类差动电流补偿方法。在此基础上, 理论联系实际, 以 Y₀/Y₀/Δ-11 型三绕组变压器和南瑞 RCS978 变压器保护为例详细地介绍了校验步骤, 提出了一套验证变压器微机保护比率差动曲线及拐点的思路及方法。

关键词: 变压器; 差动保护; 比率差动; 校验方法

Differential protection principles of transformer of ratio braking style and its measuring method

DING Ling-yun¹, HU Jing-jing²

(1. Yangzhou Power Supply Company Relay Protection Team, Yangzhou 225002, China;

2. The Key Laboratory of High Voltage Engineering and Electrical New Technology,
Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 40044, China)

Abstract: In tests of numerical transformer's differential protection, it is difficult to validate the curve of ratio-differential protection because technicians always misunderstand the principal of numerical transformer's differential protection and the methods of differential current compensation of different relaying apparatus. Aiming at this problem, this paper analyses the principal mentioned above in detail and classifies the compensation-methods adopted widely into two types. Based on which, the paper uses the Y₀/Y₀/Δ-11 three-winding transformer and one of the transformer's differential protective relaying apparatus—NARI's RCS978 sets as an example to illustrate the testing step, and puts forward a measuring method to validate the curve of ratio-differential relaying and its inflexions.

Key words: transformer; differential protection; ratio-differential; testing method

中图分类号: TM772

文献标识码: B

文章编号: 1003-4897(2007)12-0067-04

0 引言

在微机保护装置广泛应用的今天, 二次回路的连接方式虽得到简化, 但已不如电磁型保护那般直观明了; 尤其对 Y/Y/Δ 变压器 (以下简称主变) 分相差动保护, 出于对主变接线组别、各侧电压等级、CT (电流互感器) 变比及励磁涌流等种种因素的考虑, 不同的厂家采取了不同的补偿方式和比率制动方法, 如何正确的校验差动保护成为困扰着现场调试人员的难题之一。本文从保护原理入手, 以 Y/Y/Δ-11 型三绕组变压器及南瑞 RCS978 保护为例, 分析主变差动保护的校验方法。

1 变压器差动保护原理

差动保护是按比较各侧电流大小和相位而构成的一种保护^[1]。虽然变压器各侧电流不等, 且各侧之间在电路上互不相通, 但可以根据主变正常工作

及发生主变外部短路时流入和流出变压器的功率相等或者各侧电流产生的安匝之和近似为零的条件建立差动保护平衡方程。在变压器发生内部故障时, 应有差动电流流过差动回路, 差动继电器动作。

1.1 不平衡电流产生的原因

在理想情况下, 当变压器正常运行或发生外部故障时, 流过差流回路的电流为零, 差动继电器不动作。实际上由于主变各侧 CT 型号、变比、计算变比、磁饱和特性、励磁电流及主变空载合闸的励磁涌流等影响, 差流回路不可避免存在不平衡电流; 一旦不平衡电流超过差动继电器动作整定值时, 会导致差动保护误动作。

1.2 防止不平衡电流产生的措施

1) 为了防止变压器励磁涌流所产生的不平衡电流引起差动保护误动作, 主变差动保护采用间断角制动原理、二次谐波制动原理、波形对称原理躲过变压器励磁涌流的影响^[2];

2) 为防止两侧 CT 型号不同所产生的不平衡电流引起差动保护误动作, 则采用增大启动电流值以躲开主变保护范围外部短路时的最大不平衡电流;

3) 为了防止因变压器接线组别、CT 变比不同引起的不平衡电流, 则采用软件进行相位补偿及电流数值补偿使其趋于平衡。

1.3 变压器各侧电流平衡的调整

由于 Y/Δ-11 型变压器高低压侧一次绕组接线方式的不同, 造成两侧同相电流相差 30°, 在主变差动回路中产生较大的不平衡电流, 传统电磁型差动保护通过改变差动用 CT 二次接线方式补偿接线组别产生的相位误差。而微机差动保护则在软件内部以电流矢量差来消除相位角误差, 主变差动用 CT 均以 Y 型法接入主变差动回路, 简化了差动二次回路接线。保护装置制造厂家采取以变压器 Y 侧向 Δ 侧归算或 Δ 侧向 Y 型侧归算两种补偿方式。

1.4 变压器各侧电流相位补偿方法

1.4.1 Y→Δ 补偿方式

以南自 PST1200 为代表的主变差动保护实际对主变高压侧 (Y 型侧) 二次电流相位校准, 算法如下:

Y 型侧:
$$I_{AH} = (I_{ah} - I_{bh}) / \sqrt{3}$$
$$I_{BH} = (I_{bh} - I_{ch}) / \sqrt{3}$$
$$I_{CH} = (I_{ch} - I_{ah}) / \sqrt{3}$$

Δ 型侧:
$$I_{AL} = I_{al}$$
$$I_{BL} = I_{bl}$$
$$I_{CL} = I_{cl}$$

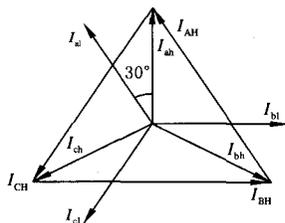


图 1 Y 型侧相位补偿相量图

Fig.1 Vector diagram of the Y side phase compensating

1.4.2 Δ→Y 补偿方式

以南瑞 RCS978 为代表的主变差动保护实际对主变低压侧 (Δ 型侧) 二次电流相位校准, 算法如下:

Y 型侧:
$$I_{AH} = I_A - I_0$$
$$I_{BH} = I_B - I_0$$
$$I_{CH} = I_C - I_0$$

其中 $I_0 = \frac{1}{3}(I_A + I_B + I_C)$ 表示 Y 型侧去掉零序电

流, 目的在于去除主变区外接地故障时流入 Y 型侧的零序电流; 因为 Δ 型侧不能提供零序电流通路, 当发生接地故障时, 零序电流在差流回路会产生不平衡电流而引起差动保护误动作。

Δ 型侧:
$$I_{a1}' = (I_{al} - I_{cl}) / \sqrt{3}$$
$$I_{b1}' = (I_{bl} - I_{al}) / \sqrt{3}$$
$$I_{c1}' = (I_{cl} - I_{bl}) / \sqrt{3}$$

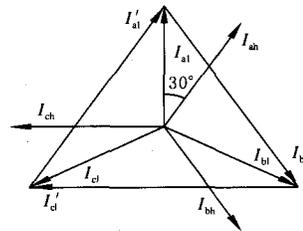


图 2 Δ 型侧相位补偿相量图

Fig.2 Vector diagram of the Δ side phase compensating

1.5 变压器各侧电流幅值平衡的调整

由于主变差动用 CT、主变铭牌标称变比与实际变比存在误差及匹配问题, 主变差动回路亦不可避免地存在不平衡电流, 为此电磁型差动保护采取加装中间变流器和带平衡绕组的差动继电器等措施予以补偿; 而微机保护则根据主变变比及 CT 变比计算主变各侧 CT 二次电流平衡系数并将各侧 CT 二次电流归算到同侧进行补偿。

2 比率制动特性曲线

除去以上引起不平衡电流的因素之外, 还需考虑到主变区外故障时短路电流的增大可能导致 CT 磁饱和的情况, 此时 CT 已不能正确反映故障侧电流, 差流已无法正确平衡, 极有可能造成差动保护误动作。故而微机保护往往采用比率制动式差动继电器, 其动作特性为: 动作电流随着不平衡电流的增大而按比率增大, 并且增长速率快于不平衡电流的增长速率。如图 3 所示, 基本思路为引入区外短路电流作为制动电流, 以差动电流为动作电流; 当区外故障电流增大时, 制动电流也随之增大, 从而有效遏制主变区外故障时差动保护误动作的情况发生。

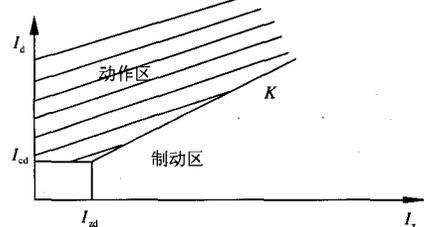


图 3 制动特性曲线

Fig.3 Braking characteristic curve

3 比率制动特性曲线的验证

搞清原理之后,以南瑞 RCS978 变压器差动保护为例详细说明 $Y_0/Y_0/\Delta-11$ 型三绕组变压器比率制动特性曲线的校验方法和过程。

已知 RCS978 变压器参数如表 1 所示,稳态比率差动特性曲线如图 4 所示。

表 1 变压器参数

Tab.1 Parameters of main power transformer

$Y_0/Y_0/\Delta-11$	高压侧	中压侧	低压侧
变压器全容量 S_e	180 MVA		
电压等级 U_e/kV	220	110	35
各侧 CT 变比 n_{CT}	1200/5	1250/5	3000/5
变压器各侧一次电流 $I_{1e} = \frac{S_e}{(U_e \cdot \sqrt{3})} / A$	472	904	297
变压器各侧二次电流 $I_{2e} = \frac{I_{1e}}{n_{CT}} / A$	1.96	3.61	4.95

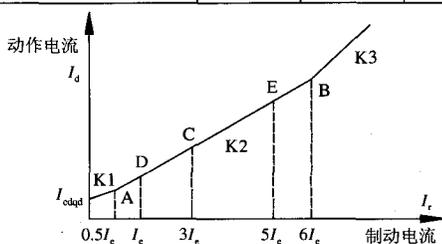


图 4 RCS978 稳态比率差动保护动作特性
Fig.4 Active character of RCS978 steady state ratio-differential protection

图 4 中 $K_1=0.2$; $K_2=K_{b1}$ (可整定); $K_3=0.75$ 其特性方程为:

$$\begin{cases} I_d > 0.2I_r + I_{cdqd} & I_r \leq 0.5I_e \\ I_d > K_{b1}[I_r - 0.5I_e] + 0.1I_e + I_{cdqd} & 0.5I_e \leq I_r \leq 6I_e \\ I_d > 0.75[I_r - 6I_e] + K_{b1}[5.5I_e] + 0.1I_e + I_{cdqd} & I_r \geq 6I_e \end{cases} \quad (1)$$

$$I_r = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^m I_i \right|$$

$$I_d = \left| \sum_{i=1}^m I_i \right|$$

其中: I_e 为变压器额定电流; $I_1, 2, \dots, m$ 为变压器各侧电流; I_{cdqd} 为稳态差动比率起动定值; I_d 为差动电流即动作电流; I_r 为制动电流; K_{b1} 为比率制动系数整定值。

注: 以上曲线及动作特性方程的前提为已消除了变压器各侧幅值和相位的差异。

选择高压侧(以下 I 侧)和低压侧(以下 III 侧)进行比率差动试验,验证斜率为 K_2 的斜线。根据图 2 Δ 型侧相位补偿原理在高压侧进行相位补偿, RCS978 技术说明书建议采用接线方式为: I 侧电流从 A 相极性端流入,流出后进入 B 相非极性端,由 B 相极性端流入试验仪; III 侧电流由 A 相极性端流入 A 相非极性端流出(若取高中两侧,均为 Y 型接法,则不必进行相位补偿)。

$$\begin{aligned} \text{I 侧: } & |I_A'| = I^*; |I_B'| = -I^*; |I_C'| = 0 \\ \text{III 侧: } & |I_a'| = |I_a - I_c| / \sqrt{3} = I^* / \sqrt{3}; \\ & |I_b'| = |I_b - I_a| / \sqrt{3} = -I^* / \sqrt{3}; \\ & |I_c'| = |I_c - I_b| / \sqrt{3} = 0 \end{aligned}$$

如果 I、III 侧加入的电流反相, I 侧大小为 I^* , III 侧为 $\sqrt{3} I^*$, 那么装置应无差流^[3], 保护不动作。其中 I^* 为标么值, $I_A', I_B', I_C', I_a', I_b', I_c'$ 为经保护装置自动补偿后的电流值, $I_A, I_B, I_C, I_a, I_b, I_c$ 为加入保护装置的电流值。

假设差动电流起动定值为 $I_{cdqd}0.3$ (标么值), 比率制动系数整定值 k_2 取 0.5, 加入高压侧的电流为 I_1 , 加入低压侧的电流为 I_3 , 代入方程组 (1) 得

$$\begin{cases} I_d > 0.2I_r + 0.3 & I_r \leq 0.5 \\ I_d > 0.5I_r + 0.15 & 0.5 \leq I_r \leq 6 \\ I_d > 0.75I_r - 1.35 & I_r \geq 6 \\ I_r = 0.5(I_1 + I_3) \\ I_d = I_1 - I_3 \end{cases} \quad (2)$$

任取图四折线 K_2 上 $C(3, y_c)$ 、 $D(1, y_D)$ 、 $E(5, y_E)$ 三点进行验证, 将 $x_c = I_r = 3$ 代入不等式组 (2) 可得 $y_c = I_d = 1.65$; $I_1 = 3.825$ 、 $I_3 = 2.175$,

$$I_{1 \text{有名值}} = 3.825 * I_{1e} = 3.825 * 1.96 = 7.497 \text{ A}$$

$$I_{3 \text{有名值}} = 3.825 * I_{3e} = 3.825 * 4.95 = 10.767 \text{ A}$$

$$I_{3 \text{有名值}} * \sqrt{3} = 18.648 \text{ A}.$$

同理可求 D、E 两点对应电流值如下:

表 2 G、D、E 三点对应电流

Tab.2 C、D、E three points corresponding current

	C(3,1.65)	D(1,0.65)	E(5,2.75)
I_1 (标么值)	3.825	1	6.375
I_3 (标么值)	2.175	0.625	3.625
I_1 (有名值) / A	7.497	2.579	12.495
I_3 (有名值) / A	10.767	3.341	17.944
$I_3 * \sqrt{3}$ (有名值) / A	18.648	5.787	31.079

以上验证的曲线上的点实际为动作区和制动区边界线上的点, 即制动与动作的临界点, 这些点满足差流为 0, 理论上差动保护不应该动作; 可以对 C (D、E) 点通入的低压侧电流 I_3 进行微调, 则可以在该点上方附近找到一个动作点 C' (D' 、 E')

进入动作区, 当此三点附近的动作点确定以后即可验证折线 K_2 , 同理可验证折线 K_1, K_3 , 而这三条折线彼此的交点即为拐点 A、B。

实际调试中由于保护装置电流 A、B、C 三相没有提供独立的非极性端, 所以可按图 5 所示将测试仪 (如博电 PW-30) 的 A、B 两相电流分别通入保护装置差动回路高压侧 A、B 两相极性端, 幅

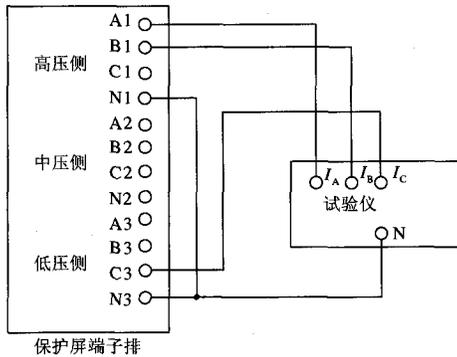


图 5 实验接线图

Fig.5 Test connecting diagram

表 3 实验参考数据

Tab.3 Data of test reference

序号		1	2	3
高压侧电流 (有名值)	A 相	7.497, 0°	2.597, 0°	12.495, 0°
	B 相	7.497, 180°	2.597, 180°	31.079, 180°
低压侧电流 (有名值)		18.648, 0°	5.787, 0°	31.079, 0°
制动电流 (标么值)		3	1	5
差电流 (标么值)		1.65	0.65	2.75

值相等取表 2 中有名值, 方向反相; C 相电流通入保护装置差动回路低压侧 A 相极性端; 并将高低压侧 N 端子并连接回仪器电流 N 端; 具体数值如表 3。

4 结束语

变压器差动保护是主变最重要的保护之一, 对它应有足够的重视。国内外微机型主变差动保护装置种类繁多, 但万变不离其宗, 只要掌握了前面所介绍的原理和校验方法后一定可以举一反三, 正确的校验主变差动保护。

参考文献

- [1] 王维俭. 电力主设备继电保护原理及应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 1996.
WANG Wei-jian. Principle and Application of Protection Relaying for Electric Power Principal Facility[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1996.
- [2] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护实用技术问答[M]. 北京: 中国电力出版社, 1997.
National Power Dispatch & Communication Center. Regulations Compilation of Protection Relaying for Electric Power System[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1997.
- [3] RCS-978JS 型变压器成套保护装置技术和使用[Z]. 南京: 南瑞继保公司.
RCS-978JS Transformer Protection Set's Technique and Application[Z]. Nanjing: NARI Relay Protection Ltd.

收稿日期: 2006-12-11; 修回日期: 2007-01-16

作者简介:

丁冷允 (1979-), 女, 学士, 助工, 从事继电保护工作; E-mail: syllable9779@yahoo.com.cn

胡晶晶 (1979-), 男, 硕士研究生, 助工, 主要研究方向为继电保护与绝缘配合等。

National Power Dispath and Communication Center. Practical Techniques A of Power System Relay Protection[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2000.

- [3] 南京南瑞继保有限公司. RCS931(B) 线路保护装置技术说明书[Z]. 2003.

收稿日期: 2006-10-31; 修回日期: 2007-01-22

作者简介:

刘麟 (1976-) 男, 工程师, 学士, 从事电力系统继电保护装置调试与维护工作。E-mail: liulin3023531@yahoo.com.cn

(上接第 66 页 continued from page 66)

保护装置的远跳发信功能, 通过光纤通道使对侧接收到远跳信号, 直接或经启动元件控制, 将断路器跳闸, 彻底消除故障。

参考文献

- [1] 国家电力调度通讯中心. 电力系统继电保护规定汇编[M]. 北京: 中国电力出版社. 1997.
National Power Dispath and Communication Center. Couection of Power System Relay Protection Code[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1997.
- [2] 国家电力调度通讯中心. 电力系统继电保护实用技术问答 (第二版) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2000.