

用三相电流源测试阻抗匹配平衡 变压器差动保护比率特性曲线的方法

曹保江, 刘承志, 王英

(西南交通大学电气工程学院, 四川 成都 610031)

摘要: 为解决采用传统的测试方法难以完成牵引供电系统普遍采用的阻抗匹配平衡变压器差动保护特性曲线的测试的问题, 提出了一种利用现有继电保护测试仪三相电流源实现该保护特性曲线的测试方法, 并采用该方法进行了实测, 验证了这种方法的有效性。

关键词: 阻抗匹配平衡变压器; 差动保护; 特性曲线; 测试方法

Measuring method of ratio braking characteristic curve on differential protection for impedance-matching balance transformer with three-phase current power supply

CAO Bao-jiang, LIU Cheng-zhi, WANG Ying

(School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: Impedance-matching balance transformer has been used widely in traction power system. It is difficult to measure the ratio braking characteristic curve on differential protection of this transformer. This paper presents a method for the curve measuring with the three-phase current power supply of protective testing instrument. Meanwhile, the experiments prove its effectiveness.

Key words: impedance-matching balance transformer; differential protection; ratio braking characteristic curve; measuring method.

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)01-0061-04

0 引言

牵引变压器是牵引供电系统中的主要电气设备之一, 其运行工作状态直接影响到牵引供电系统运行的稳定性和可靠性。由于变压器发生故障时造成的影响很大, 故应加强对其继电保护装置功能的调试, 以提高电力系统的安全运行水平。

为保证牵引变压器的安全可靠运行, 主变压器保护设备必须处于良好的工作状态。因此, 各铁路供电技术部门及维护部门均对包括主变压器保护在内的牵引变电所二次保护系统进行定期检修和状态检修, 所采用的测试仪器有多种, 但不管是便携式测试仪还是其它大功率程控电源测试系统, 大部分测试装置均只有三相电流源, 对于 YN, d11 接线牵引变压器及 V, v 接线牵引变压器等常规接线牵引变压器的差动特性曲线测试可以比较容易的实现, 但对于阻抗匹配平衡接线变压器的比率差动特性曲线的测试则较难实现。目前对阻抗匹配平衡变压器差动特性曲线

的测试采用的方法多为使用四相甚至六相电流源来完成, 这就迫使很多牵引供电部门采购新的测试仪器, 提高了硬件成本和对操作人员的技术要求。

因此, 本文在分析阻抗匹配平衡变压器的原次边电流平衡关系的基础上, 采用软件编程控制电流源输出的方法, 配合特定的接线方式, 达到使用三相电流源完成阻抗匹配平衡变压器差动特性曲线的测试。

1 阻抗匹配平衡变压器差动保护实现分析

阻抗匹配平衡变压器是适合我国电气化铁道的发展需要的新型平衡变压器, 具有较好的抑制负序电流对电力系统影响、高压侧中性点可以接地、容量利用率较高等优点, 已经成为我国电气化铁路牵引变压器的主要接线形式之一, 其原边接成星形联结并抽出中性点接地, 次边接成三角形, 并且 B 相铁心柱绕组再外延两个支臂, 称为平衡绕组, 其工作原理接线图如图 1 所示^[1,2]。

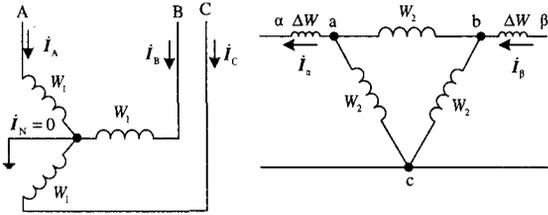


图 1 阻抗匹配平衡变压器接线图

Fig. 1 Connection of impedance-matching balance transformer

变压器保护装置中最重要一项配置——差动保护,就是为了防止变压器内部线圈及引出线的相间及匝间短路,以及在中性点直接接地系统侧的引出线和线圈上的接地短路。由于差动保护选择性好,灵敏度高,还应该考虑该保护能躲过励磁涌流和外部短路所产生的不平衡电流,同时应在变压器过励磁时不能误动。因此,其差动保护特性普遍采用的是三段折线式比率制动特性(见图 2),图中 \$I_{DZ}\$ 为差动动作电流, \$I_{SD}\$ 为差动速断电流, \$I_{br1}\$、\$I_{br2}\$ 为第一和第二折线点对应的制动电流, \$K_1\$、\$K_2\$ 为第一和第二段折线斜率^[1, 3]。

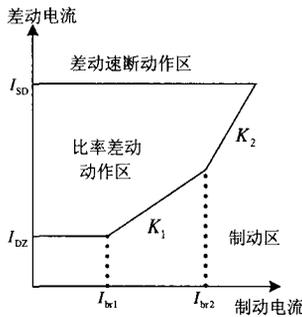


图 2 三段折线动作特性

Fig. 2 Ratio braking characteristic of three-segment

阻抗匹配平衡变压器达到阻抗匹配时次边电流 \$\dot{I}_\alpha\$、\$\dot{I}_\beta\$ 与原边电流 \$\dot{I}_A\$、\$\dot{I}_B\$、\$\dot{I}_C\$ 的线性映射关系式为^[1,3]

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_A \\ \dot{I}_B \\ \dot{I}_C \end{bmatrix} = \frac{1}{2\sqrt{3}K} \begin{bmatrix} \sqrt{3}+1 & -(\sqrt{3}-1) \\ -2 & -2 \\ -(\sqrt{3}-1) & \sqrt{3}+1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_\alpha \\ \dot{I}_\beta \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$K = \frac{W_1}{W_2}$$

考虑微机保护的具体接线形式(见图 3)^[3], 主变高压侧引入保护装置的电流设为 \$\dot{I}'_A\$、\$\dot{I}'_B\$、\$\dot{I}'_C\$。

$$\begin{bmatrix} \dot{I}'_A \\ \dot{I}'_B \\ \dot{I}'_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{I}_A - \dot{I}_B \\ \dot{I}_B - \dot{I}_C \\ \dot{I}_C - \dot{I}_A \end{bmatrix} \quad (2)$$

并设 \$\dot{I}'_a\$、\$\dot{I}'_b\$、\$\dot{I}'_c\$ 分别为变压器次边两相电流平衡变换到原边的三相电流向量,在保护装置内部算法中考虑 \$K\$ 的影响及变压器一、二次侧流互变比的不平衡后,则原、次边电流平衡方程为^[1,3]。

$$\begin{bmatrix} \dot{I}'_a \\ \dot{I}'_b \\ \dot{I}'_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{I}_a - \dot{I}_b \\ \dot{I}_b - \dot{I}_c \\ \dot{I}_c - \dot{I}_a \end{bmatrix} = \frac{1}{K_{PH}} \begin{bmatrix} 1.366 & -0.366 \\ -0.366 & 1.366 \\ -1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_\alpha \\ \dot{I}_\beta \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中: \$K_{PH}\$ 为平衡系数。

则差动电流为

$$\begin{aligned} I_{CDA} &= |\dot{I}'_A - \dot{I}'_a| \\ I_{CDB} &= |\dot{I}'_B - \dot{I}'_b| \\ I_{CDC} &= |\dot{I}'_C - \dot{I}'_c| \end{aligned} \quad (4)$$

制动电流为

$$\begin{aligned} I_{ZDA} &= |\dot{I}'_A + \dot{I}'_a| \\ I_{ZDB} &= |\dot{I}'_B + \dot{I}'_b| \\ I_{ZDC} &= |\dot{I}'_C + \dot{I}'_c| \end{aligned} \quad (5)$$

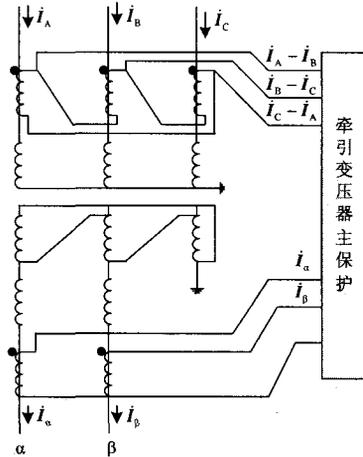


图 3 阻抗匹配平衡变压器差动保护接线

Fig. 3 Protect connection of impedance-matching balance transformer

2 差动保护比率制动特性曲线的测试

在对微机型主变保护的比率制动特性进行检测时,要求分别对保护的 A 相、B 相、C 相的差动

动作特性进行测试, 以确定保护装置在任何一相差动作时均能正确地发出跳闸命令, 故测试时必须对三相中的每一相的动作情况进行检查, 但整个微机保护中的差动作信号, 不论是哪一相动作, 均通过一个统一的出口, 因此为了获得每一相的差动保护动作情况, 测试其中任何一相的动作情况时, 必须保证其它两相可靠不动作, 即需要按照式 (3) 的关系使其它两相的差动电流为零。

以 A 相差动保护特性测试为例, 应在主变保护电流输入端子 I_A 、 I_α 加入电流, 并使得 I_{CDA} 大于等于差动动作电流整定值。但此时由于式 (3) 的关系, 必然使得 \dot{I}_B 和 \dot{I}_C 不为零, 若不在保护装置的 I_B 、 I_C 及 I_β 端子加入合适的电流予以平衡, 在 I_A 、 I_α 端子上电流逐渐增大时, 必然造成 B、C 相差动电流 I_{CDB} 、 I_{CDC} 增大, 导致保护动作, 这样的话, 仅靠保护出口信号就很难判断是哪一相的差动作, 因而无法完成对某一特定相别的比率差动保护特性曲线的测试。为使 I_{CDB} 、 I_{CDC} 不会达到或超过差动保护动作值, 必须在保护装置的相应输入端提供合适的电流用以保证平衡关系, 现在多采取的是在原有测试仪器上添加电流源输出或购置多电流源测试仪器, 按照一定的算法由程序控制保证各相电流的平衡关系, 这样必将加大硬件成本和操作复杂性。

针对许多供电段已经拥有了配置了三相程控电流源的测试仪器的实际情况, 如何使用现有的测试仪器的三相电流源, 配合一定的接线方式和软件控制完成差动保护比率特性曲线的测试, 而不用更换或增加硬件, 是一个应予解决的问题。以下就此问题提出一个解决方案。

2.1 主变差动保护 A 相比率特性曲线的测试

主变差动保护 A 相比率特性曲线测试接线方式见图 4。

为测试 A 相比率差动特性曲线, 必须保证 B 相、C 相差动保护可靠不动作, 而可完成 A 相差动保护中随着制动电流的变化的各个差动保护动作点的测试。对测试中各相差动电流的分析如下。

(1) B 相差动电流分析

在以上接线形式中, 主变保护原边电流引入端 B 相未输入电流即 $\dot{I}_B = 0$, 由式 (3) 得变压器次边 B 相平衡电流为 $\dot{I}'_B = \frac{1}{K_{PH}}(-0.366\dot{I}_\alpha + 1.366\dot{I}_\beta)$, 为使 $I_{CDB} = 0$, 则 \dot{I}_α 、 \dot{I}_β 的电流满足

$$\frac{\dot{I}_\alpha}{\dot{I}_\beta} = -\frac{1.366}{0.366} \quad (6)$$

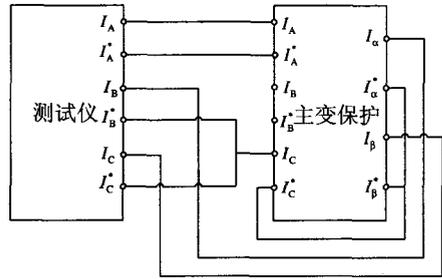


图 4 主变保护比率差动 A 相特性曲线测试接线

Fig. 4 Test circuits of Phase A ratio braking characteristic curve for transformer

此时 $I_{CDB} = 0$, 保证了主变 B 相差动保护可靠不动作。

(2) C 相差动电流分析

在以上接线形式中, 测试仪 B 相和 C 相电流源分别为主变保护 α 相和 β 相提供电流, α 相和 β 相电流被共同送入到主变保护 C 相, 由式 (2) 得

$$\dot{I}'_C = \frac{1}{K_{PH}}(-\dot{I}_\alpha - \dot{I}_\beta), \text{ 由式 (3) 得变压器次边 B}$$

相平衡电流为 $\dot{I}'_C = \frac{1}{K_{PH}}(-\dot{I}_\alpha - \dot{I}_\beta)$, 从而使得

$I_{CDC} = 0$, 保证了主变 C 相差动保护可靠不动作。

(3) A 相差动保护曲线测试的实现

测试过程中, 由测试仪器 B 相、C 相电流源提供的 \dot{I}_α 、 \dot{I}_β 的电流的变化首先应满足式 (6) 的关系。在此基础上, 调整测试仪 A 相电流源的输出。对于每一个不同制动电流所对应的差动作点, 测试开始时, 应使测试仪 A 相电流源的输出满足

$$\dot{I}'_A = \frac{1}{K_{PH}}(1.366\dot{I}_\alpha - 0.366\dot{I}_\beta), \text{ 使保护各相差动}$$

均可靠不动作, 然后增大测试仪 A 相电流源的输出, 使 \dot{I}'_A 增大; 同时降低 B、C 相电流源的输出, 达到降低 \dot{I}'_A 的目的, 并保证 \dot{I}_α 、 \dot{I}_β 的电流的变化满足式 (6) 的关系, 直到 A 相差动保护动作。

2.2 主变差动保护 B、C 相比率特性曲线的测试

此处仅给出主变差动保护 B、C 相特性曲线测试接线方式 (见图 5 和图 6), 具体测试及分析方法可参照 A 相差动特性曲线的分析。

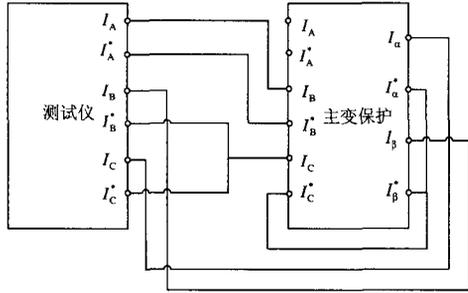


图 5 主变保护比率差动 B 相特性曲线测试接线

Fig. 5 Test circuits of Phase B ratio braking characteristic curve for transformer

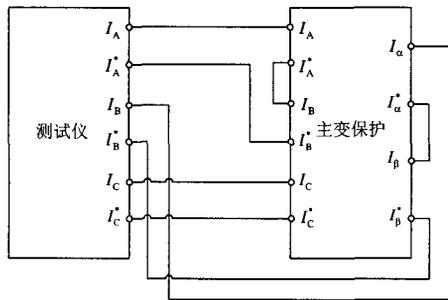


图 6 主变保护比率差动 C 相特性曲线测试接线

Fig. 6 Test circuits of Phase C ratio braking characteristic curve for transformer

3 实测结果

利用以上接线方式，利用便携式测试仪，并编制相应的测控程序，针对交大许继生产的 WBH-892Z 型主变主保护，将其接线形式整定为阻抗匹配平衡接线进行了测试，并对每一测试动作点与保护内部

形成的故障报告进行了比对。结果表明，该方法能够正确完成阻抗平衡变压器保护中的比率差动特性曲线测试。测试结果见图 7。

4 结论

本文提出了一种利用现有测试仪器的三相程控电流源实现对平衡变压器差动保护特性曲线的测试方法，采用该方法，可以有效地利用现有测试仪器，只要测试人员正确掌握变压器保护与测试仪器之间的测试接线，利用正确的控制方法编制的测控软件，即可完成阻抗匹配平衡变压器差动保护特性曲线的测试。

参考文献

[1] 李群湛, 连级三, 高仕斌. 高速铁路电气化工程[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2005. 196-199.

[2] 卢涛. 阻抗匹配平衡变压器差动保护动作方程与整定[J]. 西南交通大学学报, 2005, (2): 158-162.

LU Tao. Operational Equation and Setting of Differential Protection for Impedance Matching Balance Transformer[J]. Journal of Southwest Jiaotong University. 2005(2):158-162.

[3] 郭蕾, 高仕斌, 李群湛. 基于模型的阻抗匹配牵引变压器的保护[J]. 西南交通大学学报, 2006(6): 737-742.

GUO Lei, GAO Shi-bin, Li Qun-zhan. Protection of Impedance-Matching Balance Traction Transformer Based on Transformer Model[J]. Journal of Southwest Jiaotong University. 2006,(6):732-742.

收稿日期: 2008-03-10; 修回日期: 2008-05-15

作者简介:

曹保江 (1970-), 男, 硕士, 讲师, 从事电力系统及其自动化和网络化控制系统研究; E-mail: cbjswjtu@163.com

刘承志 (1963-), 男, 硕士, 副教授, 长期从事电力系统继电保护及其综合自动化科研教学;

王英 (1956-), 女, 副教授, 长期从事电力系统自动化及电工理论的科研教学。

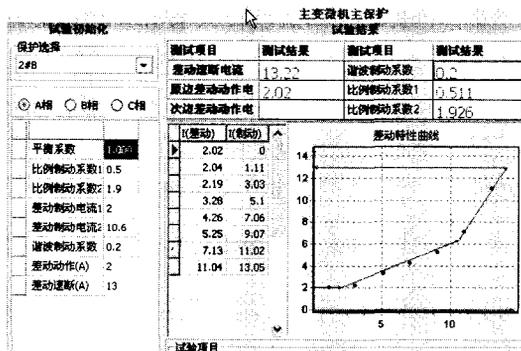


图 7 差动保护特性曲线测试过程

Fig. 7 Test result of ratio braking characteristic curve