

制动电流对变压器差动保护起动电流校验的影响

倪继文, 杨世强, 张 钢, 张文斌, 刘 冲

(西安热工研究院有限公司, 陕西 西安 710032)

摘要: 在变压器差动保护起动电流校验过程中, 通过在变压器一侧加入起动电流的方法忽略了制动电流的影响, 不能准确反映保护的動作特性。通过分析差动保护的動作原理, 根据差动保护的動作方程可推导出起动电流校验时变压器高低压侧的实际电流, 从而避免了制动电流的影响, 提高了起动电流的校验准确度。

关键词: 变压器差动保护; 起动电流; 制动电流; 校验准确度

Effect of braking current on starting current calibration of transformer differential protection

NI Jiwen, YANG Shiqiang, ZHANG Gang, ZHANG Wenbin, LIU Chong

(Thermal Power Research Institute of Xi'an, Xi'an 710032, China)

Abstract: In the starting current calibration process of the transformer differential protection, the influence of braking current is neglected by adding starting current to one side of the transformer, which can not accurately response the operation characteristics of the protection. By analyzing the operation principle of the differential protection, the actual current on the high and low voltage side of the transformer can be deduced based on the operation equation of the differential protection, so as to avoid the influence of the braking current and improve the calibration precision of the starting current.

Key words: transformer differential protection; starting current; braking current; calibration precision

0 引言

为了保证发电机组的安全稳定运行, 电厂的精细化调试尤为重要。变压器作为发电厂的主要电气设备, 一旦发生故障导致损坏, 将会造成极大的经济损失。变压器差动保护作为变压器的主保护, 能够快速可靠地切除故障, 是机组安全稳定运行最为重要的保障。所以对电气设备进行精细化调试就显得尤为重要, 在保护装置的校验过程中应尽量避免因操作方法不当而产生的误差。

1 制动电流对起动电流校验的影响

内蒙某电厂2号机组变压器保护柜采用北京四方继保自动化股份有限公司的CSC-300系列数字式发电机变压器组保护装置。变压器差动保护采用比率制动特性, 比率制动的差动保护特性如图1所示。

图1中, I_{dz} 和 I_{zd} 分别为差动电流和制动电流; I_{sd} 和 I_{cd} 分别为差动速断电流和差动起动电流定值; K_{b1} 、 K_{b2} 和 K_{b3} 分别为各段的比率制动斜率; I_{b1} 、 I_{b2} 为拐点电流。CSC-300系列保护

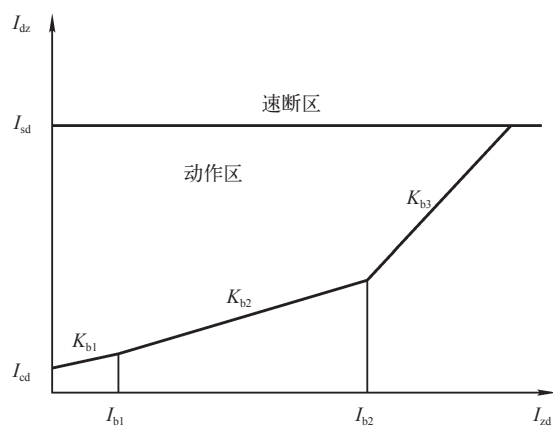


图1 比率制动的差动保护特性

Fig. 1 Differential protection characteristics of ratio braking

装置的变压器差动保护采用 180° 接线，均以流入被保护对象的电流方向为正方向，对应的差动电流和制动电流计算公式为

$$I_{dz} = \sum_{i=1}^N I_i \quad (1)$$

$$I_{zd} = \frac{1}{2} |I_{\max} - \sum I|$$

由图1和式(1)可知，变压器差动保护动作特性的第一段斜率不为零，所以在变压器单侧加入电流时会产生制动电流，从而导致在保护动作时，差动保护特性坐标轴纵轴上对应的动作电流会大于起动定值，不能准确反映保护的動作特性及保护装置的误差。

2 起动电流的校验方法

变压器高压侧电流用 I_h 表示，低压侧电流用 I_l 表示，则变压器高低压两侧的差动电流和制动电流可表示为

$$I_{dz} = I_h + I_l \quad (2)$$

$$I_{zd} = \frac{1}{2} |I_h - I_l|$$

I_h 和 I_l 都为正方向时，由式(2)可推导出变压器高低压侧电流为

$$I_h = \frac{I_{dz}}{2} + I_{zd} \quad (3)$$

$$I_l = \frac{I_{dz}}{2} - I_{zd}$$

差动保护是基于基尔霍夫电流定律工作的，差动保护将被保护设备看成一个触点，即任意时刻流入触点的电流等于流出触点的电流。由于变压器差动保护计算差流及制动电流时以高压侧电流为基准，而低压侧归算到高压侧的电流值等于 K 倍的低压侧电流实际值， K 为差动平衡系数。平衡系数表达式为

$$K = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_{hN}N_h} \bigg/ \frac{S_n}{\sqrt{3}U_{lN}N_l} = \frac{U_{lN}N_l}{U_{hN}N_h} \quad (4)$$

式中， S_n 为变压器额定容量； U_{hN} 和 U_{lN} 分别为变压器高压侧额定电压和变压器低压侧额定电压； N_h 和 N_l 分别为参与差动保护的变压器高压侧CT电压比和变压器低压侧CT电压比。

由式(3)和式(4)可以得到参与变压器差动保护的高压侧实际电流 I_{hs} 与低压侧实际电流 I_{ls} 为

$$I_{hs} = \frac{I_{dz}}{2} + I_{zd} \quad (5)$$

$$I_{ls} = \frac{(\frac{I_{dz}}{2} - I_{zd})}{K}$$

由于火电厂中主变压器大多采用Yd11接线，所以主变压器高低压侧的电流存在相角差。变压器各侧CT二次电流相位由保护装置软件进行自校正，采用在Y侧进行校正相位的方法。其校正方法如下

$$I'_A = (I_A - I_B) / \sqrt{3}$$

$$I'_B = (I_B - I_C) / \sqrt{3} \quad (6)$$

$$I'_C = (I_C - I_A) / \sqrt{3}$$

式中， I_A 、 I_B 、 I_C 和 I'_A 、 I'_B 、 I'_C 分别为Y侧CT二次电流和Y侧校正后的各相电流。

所以在分相差动校验过程中，A相差动校验时，变压器Y侧A相与d侧A相为差动相，d侧C相为补偿相；补偿相与Y侧差动相同相位。B相差动校验时，变压器Y侧B相与d侧B相为差动相，d侧A相为补偿相；C相差动校验时，变压器Y侧C相与d侧C相为差动相，d侧B相为补

偿相。由式（6）可知，在变压器Y侧通入单相电流 I_A 时，则有计入差流计算的调整后电流 $I'_A=I_A/3$ ， $I'_B=0$ ， $I'_C=-I_A/3$ 。以Yd11接线的主变压器A相差动校验为例，变压器高压侧与低压侧实际所加电流值如下。

$$\begin{aligned} I_{hsA} &= \left(\frac{I_{dz}}{2} + I_{zd}\right) \times \sqrt{3} \\ I_{lsA} &= \frac{\left(\frac{I_{dz}}{2} - I_{zd}\right)}{K} \\ I_{bsC} &= \frac{\left(\frac{I_{dz}}{2} + I_{zd}\right)}{K} \end{aligned} \tag{7}$$

I_{hsA} 与 I_{lsA} 都为正方向，所以差动保护平衡校验时二者角度互为 180° ，差动电流动作值校验时二者角度互为 0° ； I_{bsC} 为d侧C相补偿电流，因计入差流计算的调整后电流 $I'_C=-I_A/3$ 且变压器为 180° 接线，所以d侧C相所加电流与Y侧A相电流同相位。

Dy1接线的主变压器A相差动校验时，变压器高压侧与低压侧实际所加电流值如式（8）所示。因为高压侧是D形接线，所以在高压侧进行补偿。

$$\begin{aligned} I_{hsA} &= \frac{I_{dz}}{2} + I_{zd} \\ I_{lsA} &= \frac{\left(\frac{I_{dz}}{2} - I_{zd}\right)}{K} \times \sqrt{3} \\ I_{bsC} &= \frac{\left(\frac{I_{dz}}{2} + I_{zd}\right)}{K} \times K \end{aligned} \tag{8}$$

3 起动电流校验实例

内蒙古某电厂主变压器额定容量为780 MV·A，主变压器高压侧额定电压为1 100 kV，机端与厂变压器高压侧额定电压为22 kV，参与差动保护的主变压器高压侧CT电压比为1 500/1、机端CT电压比为25 000/5、厂变压器高压侧CT电压比为5 000/1，主变压器差动保护起动电流定值为0.137 A。将 $S_n=780$ MV·A、 $U_{hN}=1\ 100$ kV、 $U_{lN}=22$ kV、 $N_h=1\ 500$ 、 $N_l=5\ 000$ 代入式（4）

可得主变压器差动平衡系数 $K=0.067$ 。高厂变压器容量为72 MV·A，厂变压器低压侧额定电压为10.5 kV，参与厂变压器差动保护的厂变压器高CT电压比为2 500/1，分支电流CT电流比为5 000/1，将 $S_n=72$ MV·A、 $U_{hN}=22$ kV、 $U_{lN}=10.5$ kV、 $N_h=2\ 500$ 、 $N_l=5\ 000$ 代入式（4）可得主变压器差动平衡系数 $K=0.955$ 。

以A相主变压器高压侧与机端差动保护起动电流校验为例，差动电流为0.137 A、制动电流为0 A，所以将 $I_{dz}=0.137$ A、 $I_{zd}=0$ A、 $K=0.067$ 代入式（7）可得 $I_{hsA}=0.119$ A， $I_{lsA}=1.022$ A， $I_{bsC}=1.022$ A。由式（2）可知当主变压器高压侧电流与机端电流同相位时，制动电流为0 A。所以虽然变压器差动为 180° 接线，但在起动电流校验时主变压器两侧差动电流应为同相位，即 $I_{hsA}=0.119\angle 0^\circ$ A， $I_{lsA}=1.022\angle 0^\circ$ A， $I_{bsC}=1.022\angle 0^\circ$ A。主变压器高压侧与厂变压器高压侧差动保护起动电流校验同理。继电保护测试仪接线如图2所示，所加电流如表1所示。

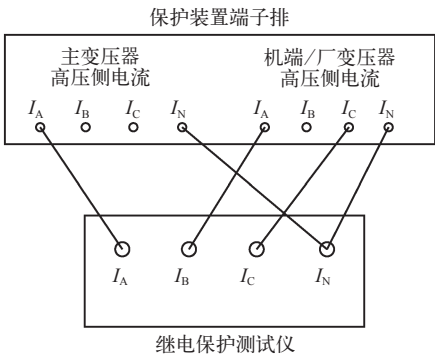


图 2 主变压器差动电流校验接线图
Fig. 2 Wiring diagram of main transformer differential current calibration

表 1 主变压器差动保护起动电流校验

Tab. 1 Calibration of starting current for differential protection of main transformer

	幅值 /A	相位 (°)	频率 /Hz
I_a	0.119	0	50
I_b	1.022	0	50
I_c	1.022	0	50

以A相厂变压器高压侧与A分支差动保护起动电流校验为例，差动电流为0.380 A、制

动电流为0 A，所以将 $I_{dz}=0.380$ A， $I_{zd}=0$ A、 $K=0.955$ 代入式(7)可得 $I_{hsA}=0.190\angle 0^\circ$ A和 $I_{lsA}=0.345\angle 0^\circ$ A， $I_{bsC}=0.190\angle 0^\circ$ A。厂变压器高压侧与A分支电流也为同相位。厂变压器高压侧与B分支差动保护起动电流校验同理。继电保护测试仪接线如图3所示，所加电流如表2所示。

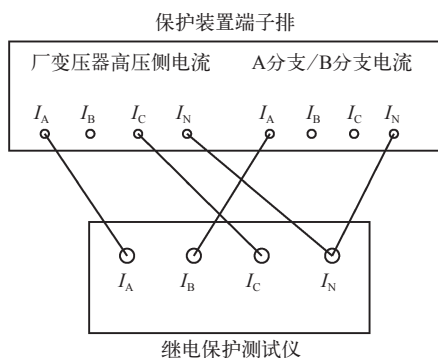


图3 厂变压器差动电流校验接线图

Fig. 3 Wiring diagram of factory transformer variable differential current calibration

表2 厂变压器差动保护起动电流校验

Tab. 2 Calibration of starting current for differential protection of factory transformer

	幅值 /A	相位 ($^\circ$)	频率 /Hz
I_a	0.190	0°	50
I_b	0.345	0°	50
I_c	0.190	0°	50

4 结束语

根据差动电流和制动电流的计算公式及保护装置的电流校正公式，可推导出参与变压器

差动保护的两侧电流及补偿电流计算公式，然后将起动电流定值及制动电流为0 A代入式即可计算出变压器高低压侧的实际试验电流。该方法有效避免了起动电流校验时由制动电流引起的误差，并可适用于其他差动定值的校验。需要特别注意的是，在起动电流校验时高低压侧差动相所加电流相位为 0° ，而拐点等其他差动电流定值校验时高低压侧差动相所加电流相位为 180° 。

参考文献

- [1] 苏毅. CSC-300数字式发电机变压器组保护装置说明书[Z]. 北京四方继保自动化股份有限公司, 2005.
- [2] 张瑞. 变压器差动保护的计算与校验[J]. 电气应用, 2017, 36(20): 34-37.

作者简介



倪继文

倪继文(1991—)，男，工程师，主要从事火电厂电气调试工作。

(收稿日期：2020-03-30)EA