

Y_N/y 变压器差动保护误动分析及解决

杨小青¹, 虞伟², 周行¹

(1. 浙江电力职业技术学院, 浙江 杭州 310015; 2. 舟山市电力公司调度所, 浙江 舟山 316000)

摘要: 由于 Y_N/y 接线变压器在现场中应用比较少, 厂家往往忽略了该类型变压器的特点。按常规 Y/Y 变压器设置差动保护算法, 会引起变压器差动保护误动。介绍了一起 Y_N/y 变压器差动保护误动案例, 从原理上分析了误动的原因。根据现场实际情况提出了两种不同的解决方案, 并给出了详细的论证。

关键词: Y_N/y 接线变压器; 差动保护; 误动; 解决方案

Analysis and solution of Y_N/y wiring transformer differential protection malfunction

YANG Xiao-qing¹, YU Wei², ZHOU Xing¹

(1. Zhejiang Electric Power Professional & Technological College, Hangzhou 310015, China;

2. Dispatch Bureau of Zhoushan Electric Power Corporation, Zhoushan 316000, China)

Abstract: Due to the little application of Y_N/y wiring transformer in electric power system, the characteristic of this type of transformer is often ignored. It will make transformer differential protection malfunction according to the conventional differential protection algorithm setting of Y/Y transformer. A malfunction instance of Y_N/y transformer differential protection is introduced. The cause is analysed theoretically. Two different kinds of solution methods for this problem are given according to actual electric power system. In the end, the detailed illustration of the solution method is given.

Key words: Y_N/y wiring transformer; differential protection; malfunction; solution method

中图分类号: TM77

文献标识码: B

文章编号: 1003-4897(2007)16-0071-05

0 引言

2006年7月15日凌晨, 雷雨天气, 图1所示系统中发生了一起变压器保护误动事故。当时系统示意接线如图1所示。

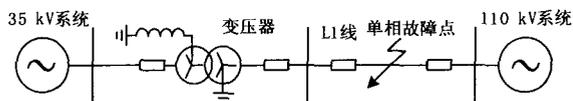


图1 系统接线图

Fig.1 Connecting diagram of the system

L1线路发生B相单相对地故障, L1线路保护、重合闸均正确动作, 而且重合成功。然而, 与此同时, 图中所示变压器的差动保护动作使得变压器两侧开关跳闸, 使变压器停运。

经检修变压器后, 确定变压器差动保护范围内无故障发生, 而且, 运行人员确认, 当时不可能出现误操作情况(只有巡视, 无操作任务), 基本可以认定变压器差动保护误动。

分析了变压器保护故障录波及事故报告后, 发现变压器保护确实采集到了差动电流, 事故报告也明确表示为变压器差动保护动作。那么, 究竟是什么原因使得该差动保护误动呢?

1 现场情况分析

1.1 事故报告、故障录波图及整定值

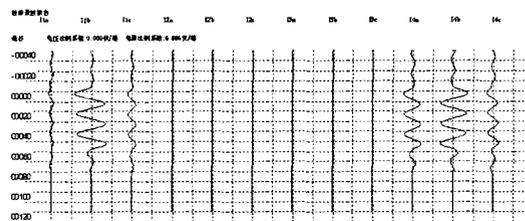


图2 故障录波图

Fig.2 Fault record wave

从变压器保护录波图(图2)可以看出, 故障期间, 110 kV侧明显表现为B相单相故障情况(B相电流较大, A、C两相电流接近于0), 而35 kV侧a、c两相电流基本相等且同相, b相电流相位与

a、c 两相相反，且比后者大（大约为 2 倍关系）。依照录波图，a 相、c 相差动电流可能超过整定值，事实也是如此，图 3 为事故报告。

事件时间	事件名称	事件参数	事件号	报警号
2006-07-15 01:32:36.982	保护动作	无	531	1
2006-07-15 01:32:36.940	比率制动出口	Ik = 2.719 A	331	1
2006-07-15 01:32:36.942	比率制动出口	Ik = 2.693 A	331	1

图 3 事故报告

Fig.3 Accident report

保护装置整定单如图 4。

序号	保护装置名称	整定值	单位	最小值	最大值
01	微机保护装置	0007		0000	FFFF
02	零序电流保护	0.001	A	0.000	FFFF
03	零序电压保护	36.000	V	0.0	500
04	I 相短路保护	115.7	A	0.00	30.00
05	I 相二次电流	0.000	A	1	50.00
06	II 相二次电流	1.000	A	1	5
07	III 相二次电流	1.000	A	0.00	10.00
08	IV 相二次电流	1.000	A	1	50.00
09	IV 相二次电流	1.000	A	1	5
10	IV 相二次电流	0.000	A	0.00	10.00
11	IV 相二次电流	1.000	A	1	50.00
12	IV 相二次电流	1.000	A	1	5
13	IV 相二次电流	1.000	A	0.00	10.00
14	IV 相二次电流	1.000	A	1	50.00
15	IV 相二次电流	1.000	A	1	5
16	微机保护装置	0007		0000	FFFF
17	微机保护装置	1.000	A	0.1	100
18	微机保护装置	1.000	A	0.1	100
19	微机保护装置	1.000	A	0.1	100
20	微机保护装置	1.000	A	0.1	100

图 4 保护装置整定单

Fig.4 Setting value report of protection equipment

1.2 差动保护原理^[1]

该变压器保护二次接线如图 5 所示，采用北京四方公司微机型保护 CSC-326GD，差动保护采用比率制动差动保护。

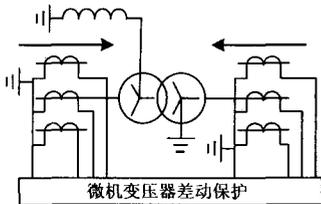


图 5 变压器保护二次接线

Fig.5 Secondary wiring of transformer protection

根据整定单，变压器接线方式设置 0007，即 Y/Y/Y-12 接线。

可以知道比率制动特性如图 6 所示。

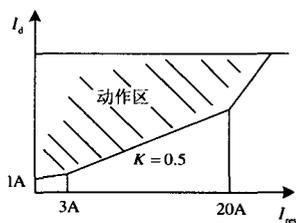


图 6 比率制动特性

Fig.6 Ratio restraint characteristic

根据变压器保护原理，差动电流计算公式为：

$$\begin{cases} I_{da} = |I_A + I_a| \\ I_{db} = |I_B + I_b| \\ I_{dc} = |I_C + I_c| \end{cases} \quad (1)$$

制动电流计算公式为：

$$\begin{cases} I_{resa} = \frac{1}{2}(|I_A| + |I_a|) \\ I_{resb} = \frac{1}{2}(|I_B| + |I_b|) \\ I_{resc} = \frac{1}{2}(|I_C| + |I_c|) \end{cases} \quad (2)$$

动作条件为：

$$\begin{cases} I_d > 0.2I_{res} + 1 & I_r \leq 3 \text{ A} \\ I_d > 0.5(I_{res} - 3) + 1.6 & 3 \text{ A} < I_{res} \leq 20 \text{ A} \\ I_d > 0.7(I_{res} - 20) + 10.1 & I_{res} > 20 \text{ A} \end{cases} \quad (3)$$

根据以上原理，并从故障录波图（图 2）可以看出，A 相及 C 相差动电流可能满足动作条件。

1.3 初步判断

从故障录波图看，变压器保护确实采集到了差动电流，并且根据预先所设定的原理进行了逻辑判断及出口跳闸，那么，为什么会出现这种情况呢？为什么 110 kV 侧 A、C 相电流较小，而 35 kV 侧会出现较大的 a、c 相电流呢？为什么 35 kV 侧的 a、c 相电流相位相同并且与 b 相相反呢？与 110 kV 侧 B 相单相接地故障有没有联系呢？

带着以上疑问，突然发现，变压器接线方式整定为 Y/Y/Y-12，两侧 CT 均为星型接线，35 kV 侧中性点经消弧线圈接地，相当于不接地。当变压器 110 kV 侧发生单相故障时，110 kV 侧有零序电流，而 35 kV 侧没有零序电流通路，这样会造成 35 kV 侧电流与 110 kV 侧电流不能完全对应，从而引起变压器差动保护误动作。

2 理论分析

35 kV 侧经消弧线圈接地，为简便分析，看作不接地系统，则分析用原理接线图如图 7。

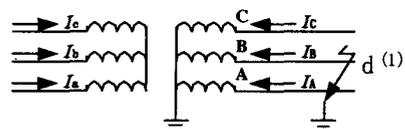


图 7 故障分析原理图

Fig.7 Schematic diagram of fault analysis

变压器各相序等效电路图如图 8。

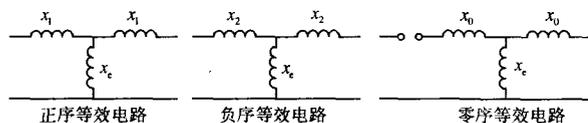


图 8 变压器各相序等效电路图

Fig.8 Three sequence equivalent circuit diagram of transformer

首先说明, 以下均采用归算到统一基准值的标幺值来分析, 根据对称分量法^[2], 可知:

$$\begin{cases} I_b = I_{b1} + I_{b2} + I_{b0} \\ I_c = \partial^2 I_{b1} + \partial I_{b2} + I_{b0} \\ I_a = \partial I_{b1} + \partial^2 I_{b2} + I_{b0} \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} I_B = I_{B1} + I_{B2} + I_{B0} \\ I_C = \partial^2 I_{B1} + \partial I_{B2} + I_{B0} \\ I_A = \partial I_{B1} + \partial^2 I_{B2} + I_{B0} \end{cases}$$

认为变压器正序阻抗与负序阻抗相等, 即 $X_1 = X_2$, $X_1 = X_2$ 。

由变压器等效电路图可知:

$$\begin{cases} I_{b1} = -I_{B1} \\ I_{b2} = -I_{B2} \\ I_{b0} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

得到:

$$\begin{cases} I_b = -(I_{B1} + I_{B2}) \\ I_c = -(\partial^2 I_{B1} + \partial I_{B2}) \\ I_a = -(\partial I_{B1} + \partial^2 I_{B2}) \end{cases} \quad (6)$$

110 kV 侧 B 相单相故障, 将变压器看作电源, 不考虑负荷电流影响, 序网图如图 9。

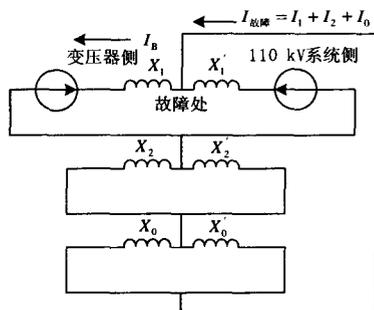


图 9 单相故障序网图

Fig.9 Fault sequence diagram of single phase

可知 $I_{故障} = I_1 + I_2 + I_0$; $I_1 = I_2 = I_0 = I$ ^[2]

设变压器侧、110 kV 系统侧电势相等, 根据电流分流规则, 得:

$$\begin{cases} I_{B1} = C_1 I_1 = C I \\ I_{B2} = C_2 I_2 = C I \\ I_{B0} = C_0 I_0 = C I \end{cases} \quad (7)$$

其中: C_1 、 C_2 、 C_0 分别为正序、负序、零序分量的分流系数, 且认为 $C_1 = C_2 = C$, 由此得到:

$$\begin{cases} I_B = I_{B1} + I_{B2} + I_{B0} = (2C + C_0) I \\ I_C = \partial^2 I_{B1} + \partial I_{B2} + I_{B0} = (C_0 - C) I \\ I_A = \partial I_{B1} + \partial^2 I_{B2} + I_{B0} = \partial C I + \partial^2 C I + C I = (C_0 - C) I \\ I_b = -(I_{B1} + I_{B2}) = -2C I \\ I_c = -(\partial^2 I_{B1} + \partial I_{B2}) = -C I \\ I_a = -(\partial I_{B1} + \partial^2 I_{B2}) = -C I \end{cases} \quad (8)$$

按照以上所述的变压器原理中差动电流的计算公式, 可得各相差动电流为:

$$\begin{cases} I_{db} = |I_B + I_b| = |(2C + C_0) I - 2C I| = C_0 I \\ I_{dc} = |I_C + I_c| = |(C_0 - C) I + C I| = C_0 I \\ I_{da} = |I_A + I_a| = |(C_0 - C) I + C I| = C_0 I \end{cases} \quad (9)$$

按制动电流计算公式, 可得各相制动电流为:

$$\begin{cases} I_{resb} = \frac{1}{2} (|I_B| + |I_b|) = \frac{1}{2} (2C + C_0) I + \frac{1}{2} 2C I \\ I_{resc} = \frac{1}{2} (|I_C| + |I_c|) = \frac{1}{2} (C_0 - C) I + \frac{1}{2} C I \\ I_{resa} = \frac{1}{2} (|I_A| + |I_a|) = \frac{1}{2} (C_0 - C) I + \frac{1}{2} C I \end{cases} \quad (10)$$

由以上分析可知, 当 110 kV 侧发生 B 相单相接地故障时, I_A 、 I_c 较小, I_B 较大, I_a 、 I_c 较大, I_a 、 I_c 相位相同, 大小相等, 而且 I_a 、 I_c 与 I_b 相反, I_b 是 I_a 、 I_c 的两倍。

依据当时变压器的保护原理, a、c 相差动可能动作, 而 B 相差动由于制动电流较大而不动作。

理论分析与实际情况完全吻合, 这是一起变压器保护原理性错误引起的误动事故。

3 解决方法

3.1 方法 1

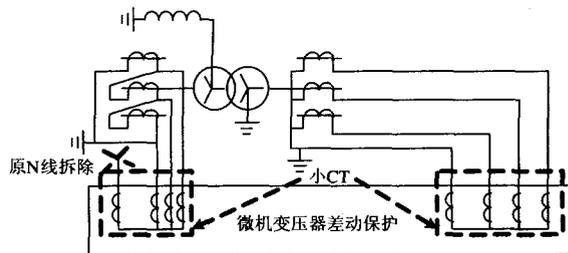


图 10 二次接线修改示意图

Fig.10 Revised schematic diagram of secondary wiring

将 35 kV 侧电流互感器改接成三角形, 保护装置交流插件中的小 CT 保持原来的星形接线不变, 将原有的 N 线拆除不接, 原 N 线中的接地点移到 C 相线。如图 10 所示。

同时将变压器接线方式设定为 $Y_N, d-11$, 根据保护原理, 110 kV 侧电流由软件校正相位, 则 110 kV 侧电流计算值为:

$$\begin{cases} I_{A\text{计算}} = (I_A - I_B) / \sqrt{3} \\ I_{B\text{计算}} = (I_B - I_C) / \sqrt{3} \\ I_{C\text{计算}} = (I_C - I_A) / \sqrt{3} \end{cases} \quad (11)$$

35 kV 侧电流不校正, 而 CT 已经被接成三角形, 即:

$$\begin{cases} I_{a\text{计算}} = I_a - I_b \\ I_{b\text{计算}} = I_b - I_c \\ I_{c\text{计算}} = I_c - I_a \end{cases} \quad (12)$$

可见, 两侧计算用电流的相位是符合差动保护原理的, 而且经过如此计算之后, 将 110 kV 侧的零序电流滤去, 当 110 kV 侧发生单相接地故障时, 差动保护将不会动作。

并且, 为了保证两侧电流的基值相等, 将整定单中 35 kV 侧二次额定电流由 5 A 改为 $5\sqrt{3}A$ (8.66 A)。

3.2 方法 2

保持变压器 CT 及变压器保护原二次接线不变, 修改微机保护算法, 设立专用的变压器接线方式 Y_N, y , 当变压器接线方式整定为 Y_N, y 时, 高压侧电流计算值改为:

$$\begin{cases} I_{A\text{计算}} = (I_A - I_B) / \sqrt{3} \\ I_{B\text{计算}} = (I_B - I_C) / \sqrt{3} \\ I_{C\text{计算}} = (I_C - I_A) / \sqrt{3} \end{cases} \quad (13)$$

低压侧电流计算值改为:

$$\begin{cases} I_{a\text{计算}} = (I_a - I_b) / \sqrt{3} \\ I_{b\text{计算}} = (I_b - I_c) / \sqrt{3} \\ I_{c\text{计算}} = (I_c - I_a) / \sqrt{3} \end{cases} \quad (14)$$

同样, 两侧计算用电流的相位是符合差动保护原理的, 经过如此计算之后, 将 110 kV 侧的零序电流滤去, 当 110 kV 侧发生单相接地故障时, 差动保护将不会动作。

3.3 论证

以上两个方法, 均利用相电流相减的算法, 滤去了零序电流, 使得当 110 kV 侧变压器外部故障时, 差动保护不会误动。可以说, 这两个方法的基本原理是一样的, 用标幺值来表示两侧的计算量:

$$\begin{cases} I_{A\text{计算}} = I_A - I_B \\ I_{B\text{计算}} = I_B - I_C \\ I_{C\text{计算}} = I_C - I_A \\ I_{a\text{计算}} = I_a - I_b \\ I_{b\text{计算}} = I_b - I_c \\ I_{c\text{计算}} = I_c - I_a \end{cases} \quad (15)$$

那么, 采用这样的方法之后, 会不会造成变压器保护拒动呢?

显然, 变压器差动范围内相间故障时, 变压器保护能够灵敏动作, 以下主要分析变压器差动范围内, 110 kV 侧单相故障时, 差动保护能否正确动作。

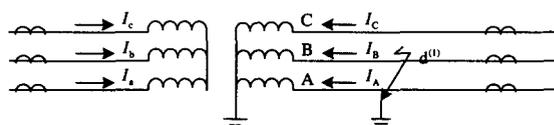


图 11 变压器差动范围内单相故障原理图

Fig.11 Schematic diagram of single phase fault in transformer differential protection

如图 11 所示, 在变压器差动保护范围内, 110 kV 侧发生 B 相接地, 当故障点在变压器引出线上时, 对一次侧的电流来说, 前面的式 (4)、(5)、(6)、(7)、(8) 依然成立, 即:

$$\begin{cases} I_B = I_{B1} + I_{B2} + I_{B0} = (2C + C_0)I \\ I_C = \partial^2 I_{B1} + \partial I_{B2} + I_{B0} = (C_0 - C)I \\ I_A = \partial I_{B1} + \partial^2 I_{B2} + I_{B0} = \partial CI + \partial^2 CI + C_0 I = (C_0 - C)I \\ I_b = -(I_{B1} + I_{B2}) = -2CI \\ I_c = -(\partial^2 I_{B1} + \partial I_{B2}) = CI \\ I_a = -(\partial I_{B1} + \partial^2 I_{B2}) = CI \end{cases} \quad (16)$$

而流过 B 相 CT 的电流已经不是上式中的 I_B , 流过 B 相 CT 的电流为:

$$I_B = -(2(1-C) + (1-C_0))I = -(3-2C-C_0)I, \text{ 这是保护装置采样到的电流。}$$

因此, 在微机保护装置中的计算量为:

$$\begin{cases} I_{A\text{计算}} = I_A - I_B = (C_0 - C)I + (3-2C-C_0)I = (3-3C)I \\ I_{B\text{计算}} = I_B - I_C = -(3-2C-C_0)I - (C_0 - C)I = (3C-3)I \\ I_{C\text{计算}} = I_C - I_A = (C_0 - C)I - (C_0 - C)I = 0 \\ I_{a\text{计算}} = I_a - I_b = CI - (-2CI) = 3CI \\ I_{b\text{计算}} = I_b - I_c = -2CI - CI = -3CI \\ I_{c\text{计算}} = I_c - I_a = CI - CI = 0 \end{cases} \quad (17)$$

可算得各相差动电流为:

$$\begin{cases} I_{db} = |I_{B\text{计算}} + I_{b\text{计算}}| = |(3C-3)I - 3CI| = 3I \\ I_{dc} = |I_{C\text{计算}} + I_{c\text{计算}}| = 0 \\ I_{da} = |I_{A\text{计算}} + I_{a\text{计算}}| = |(3-3C)I + 3CI| = 3I \end{cases} \quad (18)$$

各相制动电流为:

$$\begin{cases} I_{resb} = \frac{1}{2}(I_{B\text{计算}} + I_{b\text{计算}}) = \frac{1}{2}|3I| \\ I_{resc} = \frac{1}{2}(I_{C\text{计算}} + I_{c\text{计算}}) = 0 \\ I_{resa} = \frac{1}{2}(I_{A\text{计算}} + I_{a\text{计算}}) = \frac{1}{2}|3I| \end{cases} \quad (19)$$

从式(18)、(19)中可以看出,在变压器差动保护范围内,110 kV 侧变压器引出线上发生单相接地时,其中有两相的差动电流较大,而且制动电流仅是差动电流的一半,证明采用修改后的差动保护能正确动作。

110 kV 侧变压器绕组上发生单相接地时的情况如图 12 所示。

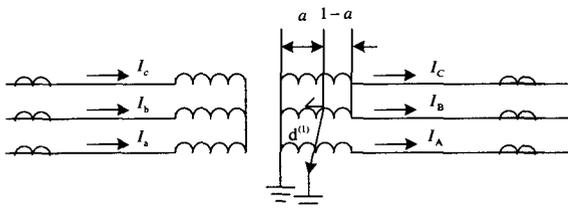


图 12 变压器绕组内单相故障原理图

Fig.12 Schematic diagram of single phase fault in transformer windings

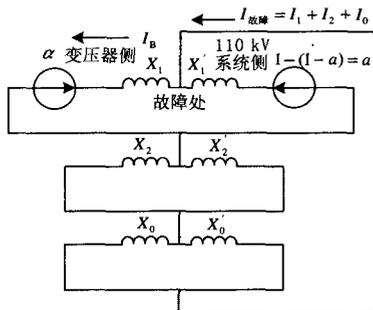


图 13 变压器绕组内单相故障等效序网图

Fig.13 Equivalent sequence diagram of single phase fault in transformer windings

序网图可以等效为如图 13 所示。

从图 13 可以看出,除了电源强弱的变化,及阻抗分布的变化外,110 kV 侧变压器绕组上发生单相接地时的情况与变压器引出线上发生单相接地时的情况基本相同。当然,a 越接近 0,差动保护的灵敏度越小,而该情况是任何算法都不可避免的。

综上所述,利用方法 1 及方法 2 解决 Y_N, Y 接线的变压器差动保护误动问题是可行的。

4 结语

CSC-326GD 软件已经升级,从原理上解决了本文所述的问题。由于 Y_N/y 接线变压器在现场中应用比较少,厂家及用户的整定调试人员往往忽略了该类型变压器的特点。本文从案例出发较详细地分析了 Y_N/y 接线变压器可能产生误动的原理,提出了解决方法,并从理论上验证了解决方法的正确性。

参考文献

- [1] 北京四方继保自动化股份有限公司. CSC-326G 数字式变压器保护装置说明书[Z].
- [2] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护技术问答(第二版)[M]. 中国电力出版社.

收稿日期: 2007-01-30; 修回日期: 2007-04-10

作者简介:

杨小青(1971-),女,本科,讲师,从事继电保护教学及研究工作; E-mail:198214178fly@163.com

虞伟(1976-),男,本科,工程师,从事继电保护工作;

周行(1971-),女,本科,讲师,从事继电保护教学及研究工作。

(上接第 70 页 continued from page 70)

BAI Zhong-min, YU Chong-gan, LIU Bai-zhen, et al. Modern Power Engineering Direct-current System[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2003.

- [2] 国家电网公司. 直流电源系统管理规范[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.

State Grid Corporation. Administrative Standard of Direct-current Power Source System[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2006.

- [3] 周志敏, 周纪海, 纪爱华. 阀控式密封铅酸蓄电池实用技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

ZHOU Zhi-min, ZHOU Ji-hai, JI Ai-hua. Practical Technique for Valve Regulated Lead Battery[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.

收稿日期: 2007-01-22; 修回日期: 2007-04-29

作者简介:

刘青杨(1970-),男,工程师,从事继电保护检修管理工作; E-mail:lqy3111@tom.com

梁俊(1978-),男,工程师,从事继电保护检修工作。