PT二次误接线导致的定子接地保护拒动分析

吴笃贵,赵斌,郭宝甫,邓茂军,徐立明
(许继电气保护及自动化事业部,河南 许昌 461000)

摘要: 国内某电厂的定子接地保护拒动起因于不正确的 PT接线。文章分析了当 PT二次侧采用 B相接地时,PT与电压变换器的中性点连接方式对保护动作行为的影响。结论表明:当二者中性点断开时,保护装置的测量结果不能正确反映一次系统的运行状态,PT断线判据可能误动;而当中性点直接相连时,保护装置能够正确动作。

关键词: 定子接地; PT断线; B相接地

中图分类号: TM772 **文献标识码**: A **文章编号**: 1003-4897(2006)05-0017-04

1 事故简介

国内某电厂的装机容量为 2×200 MW,发变组保护采用 WFB-100微机型发变组成套保护装置。定子接地保护采用基波零序过电压判据保护从机端开始 85%～95%的定子绕组单相接地故障,采用三次谐波电压比判据保护发电机中性点附近的定子绕组单相接地故障,基波零序过电压判据的输入取自机端 PT的开口三角。为了防止机端 PT一次断线导致定子接地保护误动,保护检出 PT断线后选择闭锁定子接地保护的配置方案。

2005年 3月 18日 6时 19分 07秒,发变组保护 A柜报 PT断线信号,6时 19分 11秒发变组保护 B柜报主变低压侧接地保护动作(信号)。主变低压侧接地保护的零序电压定值为 20 V,动作延时整定为 5 s。动作报告显示:零序动作电压为 155.556 V,动作延时 5.0 s,A相电压为 93.534∠94°(V),B相电压为 6.764∠280°(V),C相电压为 96.443∠158°(V)。事故发生后,运行人员通过公共管理机查看 A柜的 PT测量值,发现 A、B、C三相电压基本呈正序对称状态,而开口三角电压约为 95 V(机端 PT变比为:$\frac{U_{gn}}{\sqrt{3}}/\frac{100}{\sqrt{3}}/\frac{100}{\sqrt{3}}/\frac{100}{3}$)。最初,运行人员考虑到定子单相接地故障对机组安全危害不大,因此保持机组带故障运行长达 6 h。机组停运后,经检查发现定子绕组 B相靠近机端处发生单相接地故障,导致定子铁芯严重损坏,需要更换铁芯。

为方便同期和简化系统接线,该电厂机端 PT的二次侧采用 B相接地方式。经现场查验,发现 PT二次中性点和保护装置电压变换器的公共端没有连接。经专业研发人员和运行单位相关保护人员的研究探讨,找出了导致保护拒动的真正原因,并与正常运行和故障现象进行了对比分析,证明了结论的正确性。本文从理论上剖析了这次事故的根本原因,并提出了保护的整改意见。

2 PT二次 B相接地时,中性点连接方式对微机保护的影响

为方便分析,本文对现场二次接线作以下假设:

1) 保护 PT和装置内部电压变换器的变比均为 1。

2) 现场电气量以 U表示相对地电压,E表示电压互感器或变换器的绕组电势,各电气量加注下标表示不同的相别。

3) 清楚起见,本文将整个二次接线分为三个电气环节:保护 PT一次到二次之间;保护 PT二次到电压变换器一次之间和电压变换器二次侧。如图 1所示。

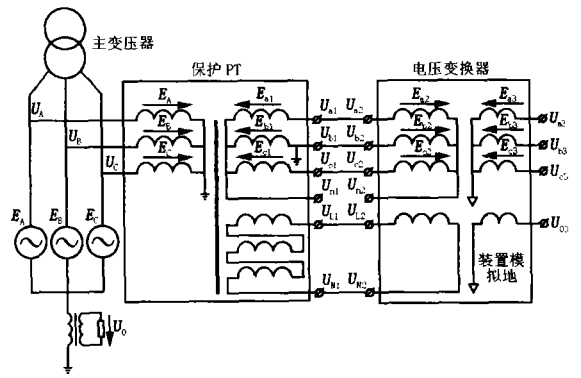

图 1 定子接地保护现场电气连接图

Fig. 1 Field electrical connection of stator winding grounding protection

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

为了剖析事故的真正原因,文章按照保护 PT二次侧中性点(n_1)与电压变换器中性点(n_2)断开和连接两种情况,从理论上研究保护装置测量值与系统运行状态参量的关系。

2.1 当 n_1 和 n_2 断开时

根据基本的电磁理论并考虑到保护 PT的一次侧中性点直接接地,因此有:

$$\begin{cases} E_A = U_A \\ E_B = U_B \\ E_C = U_C \end{cases} \tag{1}$$

根据变压器的基本理论并考虑前面的假设条件,可知 PT二次绕组的感应电势为:

$$\begin{cases} E_{a1} = E_A \\ E_{b1} = E_B \\ E_{c1} = E_C \end{cases} \tag{2}$$

由于保护 PT二次侧 B相接地,因此其各相端子的对地电压分别为:

$$\begin{cases} U_{a1} = E_{a1} + U_{n1} = E_{a1} - E_{b1} \\ U_{b1} = 0 \\ U_{c1} = E_{c1} + U_{n1} = E_{c1} - E_{b1} \\ U_{n1} = -E_{b1} \end{cases} \tag{3}$$

考虑到保护装置内部的电压变换器无论是电磁回路结构还是负载,都基本相同,因此从保护箱体外部观察,可将三个电压变换器模拟成 Y型连接的三相阻抗负载。为了确定保护装置内部的实际测量值,必须首先求得三个电压变换器的原边绕组的感应电势。为此,可将保护 PT按式(3)等效为三相电压源,则定子接地保护电气连接的等效电路图可如图 2所示。

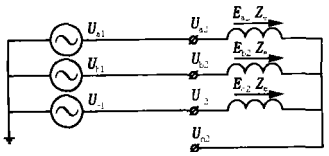

图 2 定子接地保护等效连接图

Fig 2 Equivalent connection of stator winding grounding protection

对 n_2 列节点电压方程,

$$\frac{3}{Z_e}U_{n2} = \frac{1}{Z_e}(U_{a1} + U_{b1} + U_{c1}) \tag{4}$$

可得:

$$U_{n2} = \frac{1}{3}(U_{a1} + U_{b1} + U_{c1}) \tag{5}$$

则电压变换器原边绕组的各相电势分别为:

$$\begin{cases} E_{a2} = U_{a2} - U_{n2} = \frac{1}{3}(2U_{a1} - U_{b1} - U_{c1}) \\ E_{b2} = U_{b2} - U_{n2} = \frac{1}{3}(2U_{b1} - U_{c1} - U_{a1}) \\ E_{c2} = U_{c2} - U_{n2} = \frac{1}{3}(2U_{c1} - U_{a1} - U_{b1}) \end{cases} \tag{6}$$

而电压变换器的二次侧电压则为:

$$\begin{cases} U_{a3} = E_{a3} = E_{a2} \\ U_{b3} = E_{b3} = E_{b2} \\ U_{c3} = E_{c3} = E_{c2} \end{cases} \tag{7}$$

将式(1)、(2)、(3)和(6)代入式(7),则可得到:

$$\begin{cases} U_{a3} = \frac{1}{3}(2U_A - U_B - U_C) \\ U_{b3} = \frac{1}{3}(2U_B - U_C - U_A) \\ U_{c3} = \frac{1}{3}(2U_C - U_A - U_B) \end{cases} \tag{8}$$

装置软件自产零序电压则为:

$$3U_{03} = U_{a3} + U_{b3} + U_{c3} = 0 \tag{9}$$

即:装置自产零序电压恒定为零。

由图 1可知,由于零序电压测量回路(PT二次开口三角)不受 PT二次接地方式的影响,应有:

$$3U_{03} = U_A + U_B + U_C \tag{10}$$

2.2 当 n_1 和 n_2 连接时

由于 n_1、n_2 同电位,因此应有下列关系成立:

$$U_{n2} = U_{n1} = -U_B \tag{11}$$

此时,重复 2.1节的推导过程,可得:

$$\begin{cases} U_{a3} = U_A \\ U_{b3} = U_B \\ U_{c3} = U_C \end{cases} \tag{12}$$

装置软件自产零序电压则为:

$$3U'_{03} = U_A + U_B + U_C \tag{13}$$

零序电压测量回路的输出仍如式(10)所示。

3 正常运行时,两种中性点连接方式对微机保护的影响

假设正常运行时,一次系统的相电压为 U_ϕ,且A、B、C三相呈正序对称状态,即有:

$$\begin{cases} U_A = U_\phi e^{j0} \\ U_B = U_\phi e^{-j\frac{2\pi}{3}} \\ U_C = U_\phi e^{j\frac{2\pi}{3}} \end{cases} \tag{14}$$

当 n_1 和 n_2 断开时,将式(14)代入式(8)和

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(10),并考虑到 $U_A+U_B+U_C=0$,则有:

$$\begin{cases} U_{a3}=U_A \\ U_{b3}=U_B \\ U_{c3}=U_C \end{cases} \tag{15}$$

$$3U'_{03}=0=3U_{03} \tag{16}$$

将式(15)、(16)与式(12)、(13)比较,可得出结论:在正常运行时,两种中性点连接方式对微机保护装置的测量结果没有任何影响[1]。

4　系统单相接地时,两种中性点连接方式对微机保护的影响

正常运行时的发电机机端电压仍如式(14)所示,并考虑发电机中性点接地电阻为无穷大,因此一次系统可认为是典型的不接地系统。假设B相发生金属性接地,此时应有:

$$\begin{cases} U_A=\sqrt{3}U_\Phi e^{j\frac{\pi}{6}} \\ U_B=0 \\ U_C=\sqrt{3}U_\Phi e^{j\frac{\pi}{2}} \end{cases} \tag{17}$$

4.1　当 n_1 和 n_2 断开时

将式(17)代入式(8),可得:

$$\begin{cases} U_{a3}=U_\Phi e^{j0} \\ U_{b3}=U_\Phi e^{-j\frac{2\pi}{3}} \\ U_{c3}=U_\Phi e^{j\frac{2\pi}{3}} \end{cases} \tag{18}$$

因此,在系统发生B相金属性接地时,保护装置测量到的三相电压应呈正序对称状态,显然不能正确反映一次系统的实际运行情况。事故发生后,运行人员通过查看公共管理机的记录结果,已经证实了分析结果的正确性。

由于保护装置在现场接线时仅引入一组PT电压,常规基于电压平衡原理的PT断线判据不能使用,因此装置内部采用了基于零序电压差动原理的PT断线判据,其公式为:

$$|U_{a3}+U_{b3}+U_{c3}-3U_{03}|>U_{set} \tag{19}$$

其中:U_{set}为动作定值,一般由软件在内部固定整定为30 V。

将式(17)代入式(10)并考虑实际的变比,则可得到系统发生B相金属性接地时机端PT开口三角的测量电压,为:

$$|3U_{03}|=\frac{1}{3}|U_A+U_B+U_C|=U_\Phi=100 \tag{20}$$

公共管理机显示的现场实测结果为95 V,证实了分析的正确性。

将式(9)和(20)代入式(19),可知PT断线判据一定动作,并将定子接地保护判据闭锁,导致保护拒动。

4.2　当 n_1 和 n_2 连接时

将式(17)代入式(12),可得:

$$\begin{cases} U_{a3}=\sqrt{3}U_\Phi e^{j\frac{\pi}{6}} \\ U_{b3}=0 \\ U_{c3}=\sqrt{3}U_\Phi e^{j\frac{\pi}{2}} \end{cases} \tag{21}$$

显然,当 n_1 和 n_2 连接时,即便系统发生单相接地故障,保护装置也能反映系统实际的运行状态。

综合考虑式(13)、(19)、(20)和(21),当 n_1 和 n_2 连接时,即便系统发生单相接地故障,保护装置PT断线判据也不会出现误判现象。

5　事故现象回放

为了将事故现象和理论分析相互佐证,本文此处利用发变组保护B柜记录的数据并参考上述章节的理论分析,重现事故时保护装置的动作行为。发生单相接地时,系统的运行状态如下:

$$\begin{cases} U_A=95.534\angle 94^\circ\text{(V)} \\ U_B=6.764\angle 280^\circ\text{(V)} \\ U_C=96.443\angle 158^\circ\text{(V)} \\ |3U_0|=155.556\text{(V)} \end{cases}$$

将上述数据代入式(8),保护装置内部实测的系统运行参数为:

$$\begin{cases} U_{a3}=58.070\angle 64.428^\circ\text{(V)} \\ U_{b3}=57.775\angle -55.451^\circ\text{(V)} \\ U_{c3}=58.029\angle -175.259^\circ\text{(V)} \\ |3U'_{03}|=2.648\times 10^{-15}\text{(V)} \end{cases}$$

显然,保护装置测量到的三相系统运行参数基本对称,不能正确反映系统实际的运行状态。同时,自产零序电压基本为零,外接零序电压测量值(95 V)远大于 U_{set},PT断线必定动作并闭锁定子接地保护,最终导致保护拒动。

6　结论与建议

本文按照PT二次侧中性点与保护装置电压变换器原边中性点连接与否两种情况,从理论上推导了PT二次侧采用B相接地时,保护装置测量结果与一次系统运行状态的关系,并研究了正常运行和系统发生单相接地时,保护装置的理论测量结果。结论表明:正常运行时,PT二次侧中性点与保护装

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

置电压变换器原边中性点的连接方式对测量结果没有影响。但在系统出现单相接地故障时,如果断开二者之间的连线,保护装置的测量结果则无法正确反映系统的实际运行状态。

该电厂的事故是严重的,其根本原因在于人们对 PT二次侧采用 B相接地方式对现代微机保护装置的影响认识不清。早在 1994年,原电力工业部颁布的《电力系统继电保护及安全自动装置反事故措施要点》第 8.5条就明确推荐取消电压互感器二次 B相接地方式[2]。很多变电站或电厂在将 B相接地改为 N相接地方面也积累了丰富的经验[3]。在微机保护装置广泛应用的今天,我们建议应尽快将现场 B相接地的 PT改造为 N相接地,尽量减少出现人为事故的概率。同时,建议另外引入一组电压,将 PT断线判据更改为电压平衡原理。

参考文献:

[1] 李仲明. PT二次侧 B相接地时微机保护自产和外接 $3U_0$的剖析[J]. 继电器, 2002, 28(2): 20-24.
LI Zhong-ming. Analysis on the Self-produced and Out-connected $3U_0$ of Microprocessor-based Protection at B Phase Earthing on Secondary Side of PT[J]. Relay, 2002, 28(2): 20-24.

[2] 电力工业部. 电力系统继电保护及安全自动装置反事故措施要点[Z]. 1994.
Department of Electric Power. Outline of Anti-accident Measures on Protection Relay and Security Automation Equipment of Power System[Z]. 1994.

[3] 张广梅,廖昌志,王海洲. 变电站 PT二次 B相接地改为 N相接地的一点经验[A]. 电机工程学会年会论文集. 六盘水: 2001.
ZHANG Guang-mei, LIAO Chang-zhi, WANG Hai-zhou. Experience on Changing B Phase Earthing to N Phase Earthing of PT Secondary Side in Substation[A]. Proceeding of Annual Meeting Electrical Engineering Academy of Liupanshui City. Liupanshui: 2001.

收稿日期: 2005-07-07; **修回日期**: 2005-08-24

作者简介:

吴笃贵(1969 -),男,博士,高级工程师,主要研究方向为 HVDC、FACTS技术及电力系统谐波的监控和治理,目前主要从事大型发电机变压器组继电保护技术的研究; E-mail: Wuduguioo@sina.com

赵 斌(1972 -),男,硕士,高级工程师,主要从事大型发电机变压器组继电保护技术的研究;

郭宝甫(1973 -),男,工程硕士,工程师,主要从事高压电抗器以及大型发电机变压器组继电保护技术的研究。

Miss trip analysis of stator winding grounding fault due to false PT secondary connection

WU Du-gui, ZHAO Bin, GUO Bao-fu, DENG Mao-jun, XU Li-ming
(XJ Electric Protection and Automation Business Department, Xuchang 461000, China)

Abstract: Failure to operation of stator winding grounding fault occurred in a domestic power plant resulted from false PT secondary connection. The paper analyzes the influence of connection mode between neutral points of PT and voltage transducers on actions of relay when phase B is grounded in PT secondary side. The conclusions show that measurements of relay protection could not reflect operation states of primary system and criterion of PT secondary broken connection may result in false operation when the connection between neutral points of PT and voltage transducers is broken. Protection relays can correctly operate when neutral points directly connected.

Key words: stator winding grounding; PT secondary broken connection; phase B earthing

(上接第 12页 continued from page 12)

Complex selector for the distance protection of 110 kV transmission line

YANG Yu-quan, WEN Bo-ying, OUYANG Qiang, SUN Rong-zhi
(China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: When adopting the technique of single-phase automatic reclosing in EHV/UHV transmission line protection, fault phases should be selected correctly in advance. By analyzing the defects of selector in computer protection, this paper proposes the complex fault phases selector combined with voltage-current abrupt discontinuous components fault phases selector, voltage-current sequence components fault phases selector with impedance components, direction components and instantaneous value estimation components. It can correctly identify the fault type and fault phase. Lots of PSCAD simulations indicate it is a better selector with correctness for single-phase automatic reclosing in HV transmission line.

Key words: line protection; fault phase selector; instantaneous value estimation components; PSCAD simulation

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net