

## 变压器零序电流保护选用电流互感器的探讨

刘华<sup>1</sup>, 田芳<sup>1</sup>, 张予鄂<sup>1</sup>, 郭耀珠<sup>2</sup>, 王敬军<sup>1</sup>

(1. 河南省电力公司, 河南 郑州 450052; 2. 河南电力试验研究院, 河南 郑州 450052)

**摘要:** 变压器零序电流保护的引线取自中性点套管电流互感器和中性点间隙电流互感器, 在主变端子箱内容易接错且不易发现, 造成主变零序电流保护在线路故障时误动跳闸。通过对区内外故障特性的分析和推断、主变压器继电保护配置的阐述, 指出变压器零序电流保护用开关电流互感器自产零序电流代替中性点套管电流互感器的零序电流, 可以彻底杜绝此类事故的发生。

**关键词:** 变压器; 套管; 零序电流保护; 端子箱; 自产

### Discussion about choosing the current transformer used by zero sequence current protection for transformer

LIU Hua<sup>1</sup>, TIAN Fang<sup>1</sup>, ZHANG Yu-e<sup>1</sup>, GUO Yao-zhu<sup>2</sup>, WANG Jing-jun<sup>1</sup>

(1. Electric Power of Henan, Zhengzhou 450052, China;

2. Henan Electric Power Research Institute, Zhengzhou 450052, China)

**Abstract:** The lead line selected from the neutral bushing CT and neutral clearance CT used for zero-sequence current protection is easy to be connected wrongly, which is difficult to find out, so it can cause the main transformer zero-sequence current protection mal operate when line fault occurs. Based on the characteristic analysis and deduction of external fault and the elaboration of main transformer relay protection configuration, this paper points out that in zero-sequence current protection using the zero-sequence current produced by switch CT to replace the zero-sequence current of neutral bushing CT can avoid the similar incidents completely.

**Key words:** transformer; casing; zero-current protection; terminal box; self-produced

中图分类号: TM773 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)16-0084-03

## 0 引言

目前,我国高压电网运行的220 kV主变压器均配置零序过流保护和间隙过流保护<sup>[1]</sup>。其中,零序过流有两段,第I段带方向(简称零序方向电流保护),电流取自变压器开关电流互感器(以下简称开关CT)自产 $3I_0$ ;第II段不带方向(以下简称零序电流保护),电流取自中性点套管电流互感器(以下简称中性点CT)。间隙过流保护取自中性点间隙电流互感器。取自中性点套管CT和取自中性点间隙电流互感器的接线先接到主变端子箱,然后由主变端子箱引到主变保护装置。当这两个CT回路接线错误时,例如在端子箱内接线交叉,当外部线路故障时,因为110 kV线路零序过流保护II段动作时间较长,间隙过流保护整定动作时间较短(一般整定0.5 s),就可能造成间隙过流误动跳闸。

2009年6月,某220 kV变电站的1条110 kV

线路零序II段保护范围内发生接地故障时,该站#1主变间隙过流动作跳闸。事故后检查,正是两组CT在主变端子箱内接线交叉,即把主变220 kV侧零序电流错误引到保护装置中性点间隙过流的端子上,主变220 kV侧零序电流2.896 A大于中性点间隙过流保护电流定值2.5 A,经0.5 s定值延时,在110 kV故障线路保护动作出口前抢先动作(该线路零序II段保护动作时间为0.6 s),跳主变三侧开关。

## 1 事故后的思考

本次事故的直接原因是施工人员把取自中性点套管CT和取自中性点间隙电流互感器的引线在主变端子箱接错。但是,这两组CT正常运行时均没有电流,无法用带负荷检查的方法检查电流回路接线的正确性,也是接线错误不能被及时发现的一个原因。

目前解决此类问题的方法是加强人员责任心,

认真核查接线的正确性。效果显然不能令人满意。能否采取一个技术手段解决次问题呢？思考后，认为用本侧开关（或套管）CT 的自产零序电流，代替中性点 CT 零序电流，可以彻底避免此类事故。

用本侧开关 CT 的自产零序电流，代替中性点 CT 的零序电流，要考虑三个方面的问题：外部故障时灵敏度是否相同；内部故障时，中性点 CT 零序电流保护的作用；开关 CT 断线问题。

## 2 分析

### 2.1 外部故障分析

由图 1，根据基尔霍夫电流定律，流进变压器中性点 N 点的电流总等于流出 N 点的电流，即当变压器发生外部接地故障时，开关 CT 的自产  $3I_0 = I_A + I_B + I_C$  总是等于变压器中性点 CT 流过的电流  $3I_{T0}$ ，即外部故障时灵敏度相同。

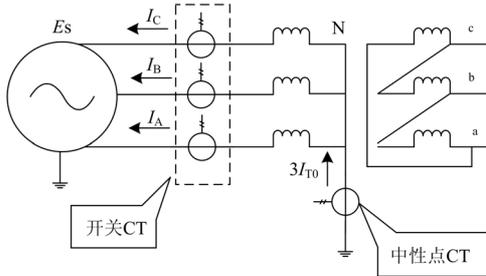


图 1 变压器开关 CT 和中性点 CT 安装位置示意图

Fig.1 The position of CT fitted on switch and neutral point for transformer

### 2.2 内部故障分析

假设变压器空载运行时高压套管出口发生 A 相接地故障，见图 2。已知系统的正序、负序和零序电抗分别为  $X_{S1}$ ,  $X_{S2}$  和  $X_{S0}$ ，且  $X_{S1} = X_{S2}$ ；变压器的正序、负序和零序电抗分别为  $X_{T1}$ ,  $X_{T2}$  和  $X_{T0}$ 。其等值序网连接图见图 3<sup>[2]</sup>。

$$I_{K1} = I_{K2} = I_{K0} = I_{KA} / 3$$

$$I_{S0} = I_{K0} \times X_{T0} / (X_{T0} + X_{S0})$$

$$I_{S0} = K_{f0} I_{K0} = K_{f0} I_{KA} / 3$$

$$K_{f0} = X_{T0} / (X_{T0} + X_{S0}) = 1 / (1 + X_{S0} / X_{T0})$$

其中： $K_{f0}$  为零序分支系数； $I_{T0} = I_{K0} - I_{S0} = I_{K0} - K_{f0} I_{K0} = (1 - K_{f0}) I_{K0} = (1 - K_{f0}) I_{KA} / 3$ 。

以 RCS-978 变压器保护为例，变压器 A 相差动电流  $I_{CD} = I_{KA} - I_{K0} = 2I_{KA} / 3$ 。

变压器差动保护定值要保证在最小方式下差动保护区内变压器引线上两相金属性短路有灵敏度<sup>[3]</sup>，一般整定为 0.4 倍的变压器额定电流，即  $0.4I_n$ 。差动保护灵敏度  $K_{CDLM}$  为

$$K_{CDLM} = (2I_{KA} / 3) / (0.4I_n) \quad (1)$$

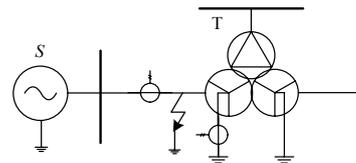


图 2 变压器高压侧出口 A 相故障

Fig.2 Phase A earth fault on high voltage side of transformer

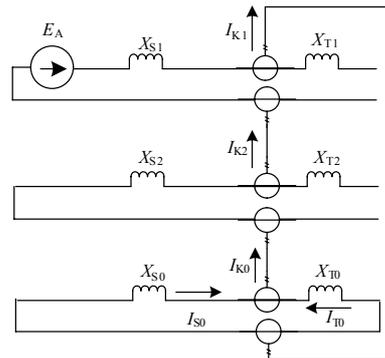


图 3 A 相接地序网连接图

Fig.3 The sequence net work of phase A earth fault

变压器中性点电流  $3I_{T0} = (1 - K_{f0}) I_{KA}$ ，定值与相邻线路零序最后一段相配合，一般整定 330 A。变压器中性点电流保护灵敏度  $K_{T0LM}$  为

$$K_{T0LM} = (1 - K_{f0}) I_{KA} / 330 \quad (2)$$

式 (1) 除以式 (2)，化简得：

$$K_{CDLM} / K_{T0LM} = \frac{550}{(1 - K_{f0}) I_n} = \frac{550}{[1 - 1 / (1 + X_{S0} / X_{T0})] I_n} \quad (3)$$

由式 (3) 可见，当变压器额定电流  $I_n \leq 550$  A 时，无论  $X_{S0}$ 、 $X_{T0}$  取任何值，始终满足  $K_{CDLM} / K_{T0LM} \geq 1$ ，即差动保护比中性点零序电流保护更灵敏。

对于河南电网 220 kV 系统中最大容量的 240 MVA 的变压器，变压器额定电流  $I_n = 630$  A，此时令式 (3)  $K_{CDLM} / K_{T0LM} = 1$ ，解得  $X_{S0} = 6.87 X_{T0}$ ，即只要  $X_{S0} \leq 6.87 X_{T0}$ ，则有  $K_{CDLM} / K_{T0LM} \geq 1$ 。

表 1 和表 2 分别给出了河南电网 220 kV 系统常用变压器容量与  $K_{CDLM} / K_{T0LM}$  的关系及目前运行的 240 MVA 变压器的零序电抗和系统零序电抗。

从表 2 可见，所有系统零序电抗（标么值）均小于 6.87 倍的变压器零序电抗（标么值），即满足  $K_{CDLM} / K_{T0LM} > 1$ 。

可以证明，变压器重载或中、低压侧带电源时，式 (1)、式 (2) 和式 (3) 仍然成立。

结论：内故故障时，差动保护完全可以取代中性点零序电流保护的功能。

表 1 变压器容量、系统零序电抗与  $K_{CDLM}/K_{TOLM}$  的关系

Tab.1 The relation between capacity of transformer, zero-sequence impedance of system and  $K_{CDLM}/K_{TOLM}$

变压器容量 / MVA	变压器额定电流 / A	$X_{S0}/X_{T0}$	$K_{CDLM}/K_{TOLM}$
120	315	任意值	>1
150	394	任意值	>1
180	472	任意值	>1
240	630	≤6.87	≥1

表 2 河南电网 240 MVA 变压器零序电抗和系统零序电抗  
Tab.2 The zero-sequence of transformer with 240 MVA and the zero-sequence of power system in He Nan grid

变电站名	变压器容量 / MVA	$X_{S0}$	$X_{T0}$	$X_{S0}/X_{T0}$
金岱#1 变	240	0.039 6	0.054 4	0.73
金岱#2 变	240	0.039 6	0.054 7	0.72
鲁庄#1 变	240	0.070 9	0.061 5	1.15
鲁庄#2 变	240	0.070 9	0.061 1	1.16
宣化#1 变	240	0.188 4	0.059 9	3.15
慈云#1 变	240	0.050 8	0.062 1	0.82
慈云#2 变	240	0.050 8	0.061 8	0.82
海棠#1 变	240	0.102 5	0.063 9	1.60

### 2.3 CT 断线分析

选用本侧开关 CT 的自产零序电流替代中性点 CT 的零序电流要考虑开关 CT 断线问题。

CT 断线后, 保护装置根据用户定值, 选择立即闭锁或不闭锁差动保护, 同时, 延时 10 s 报该侧 CT 异常告警信号。

据文献[1], 除母线保护外, 其他保护装置检测出 CT 断线后, 允许保护动作跳闸。其思想是 CT 断线会产生高电压(如果负荷电流很大), 危及人身和设备安全。如果用户选择允许跳闸, 则目前的保护装置不需要任何改动, 即可直接用本侧开关 CT 的自产零序电流代替中性点 CT 的零序电流。

目前, 河南电网均选择 CT 断线后立即闭锁差动保护, 其思想是基于目前的变压器均配置两套主备一体化的微机变压器保护, 即双重化配置。一套保护使用一个二次绕组, 不考虑两个二次绕组同时断线。当一个二次绕组断线时, 立即闭锁本套差动保护(另一套保护仍在正常运行), 同时告警, 让值班人员根据当时负荷情况, 选择减负荷处理或断开断路器处理。此种情况下, 如果 CT 断线要闭锁零序保护, 需要保护装置厂家修改软件, 这是很容易做到的事情。

### 3 后备保护配置的意义和目的

通常意义上的后备保护是主保护或断路器拒动

时, 用来切除故障的保护。对后备保护的两点基本要求是: 1) 硬件——主保护硬件损坏时, 后备保护能保持正常工作; 2) 软件——主保护原理上存在缺陷或灵敏度不足。

对于过去老一代的变压器保护, 通常只配置一整套变压器保护。差动保护使用一个二次绕组, 后备保护使用另一个二次绕组, 差动保护和后备保护在硬件上相互独立。变压器主保护和后备保护取用不同的 CT 是必须的。

对目前广泛应用的主备一体化的微机变压器保护, 后备保护显然不能满足上述两点基本要求。目前的保护装置, 在保护原理上, 主保护灵敏度高于后备保护; 在硬件结构上, 差动保护、后备保护共同使用一个二次绕组提供电流, 共同使用一个微机芯片进行运算, 一损俱损。显然, 后备保护不能作主保护的后备; 因此, 变压器的后备保护实质是外部故障的后备保护。变压器内部故障由双重化配置的主保护或本体保护切除故障。故障线路的主保护拒动应由故障线路的后备保护切除故障, 只有当相邻母线保护或故障线路的后备拒动, 才由变压器后备保护切除故障。

### 4 结语

用本侧开关 CT 的自产零序电流代替中性点 CT 的零序电流, 在变压器外部故障时, 灵敏度不变; 在变压器内部故障时, 差动保护可以完全取代中性点零序电流保护的功能; 变压器的后备保护实质上是外部故障的后备保护。因此, 对于允许 CT 断线跳闸的用户, 可以直接用本侧开关 CT 的自产零序电流代替中性点套管 CT 的零序电流; 对于不允许 CT 断线跳闸的用户, 只需要保护装置厂家对保护软件稍加修改即可。如此, 彻底杜绝了中性点套管 CT 接线错误造成的事故。

### 参考文献

- [1] GB/T14285-2006 继电保护和安全自动装置技术规程[S]. GB/T14285-2006 technical code for relaying protection and security automatic equipment[S].
- [2] 崔家佩, 孟庆炎, 等. 电力系统继电保护与安全自动装置整定计算[M]. 北京: 水利电力出版社, 1993. CUI Jia-pei, MENG Qing-yan, et al. Setting of power system relay protection and security stability device[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1993.
- [3] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护规定汇编[M]. 二版. 北京: 中国电力出版社, 2000.

(下转第 91 页 continued on page 91)

电流、可控串补补偿度调整、可控电抗器补偿度调整的影响, 具有较高的灵敏性, 仿真验证了新原理的有效性, 表明该原理可以用于带串补电容和并联电抗器的输电线路的保护, 作为此类高压线路双重化保护的选择之一。

### 参考文献

- [1] 中国电力科学研究院. 安西-酒泉-永登750kV双回线路串补工程可行性研究[R]. 北京: 中国电力科学研究院, 2009.  
CEPRI. The Anxi—Jiuquan—Jinchang—Yongdeng double-circuit 750 kV transmission line SC project feasibility study[R]. Beijing: China Electric Power Research Institute, 2009.
- [2] 中国电力科学研究院. 酒泉风电基地送出FACTS应用研究[R]. 北京: 中国电力科学研究院, 2009.  
CEPRI. The Jiuquan wind power base transmission FACTS application study[R]. Beijing: China Electric Power Research Institute, 2009.
- [3] 王维洲, 彭夕岚, 何世恩. 成碧220 kV可控串补装置的运行与维护[J]. 电网技术, 2007, 31 (1): 50-55.  
WANG Wei-zhou, PENG Xi-lan, HE Shi-en. The operation and maintenance of Chen-Bi 220 kV TCSC[J]. Power System Technology, 2007, 31 (1): 50-55.
- [4] 中国电力科学研究院. 可控串补的工程应用研究[R]. 北京: 中国电力科学研究院, 2000.  
CEPRI. The engineering application study of the TCSC[R]. Beijing: China Electric Power Research Institute, 2000.
- [5] 中国电力科学研究院. 可控串补的电力系统分析[R]. 北京: 中国电力科学研究院, 2000.  
CEPRI. The power system analysis of the TCSC[R]. Beijing: China Electric Power Research Institute, 2000.
- [6] 西北电网公司. 适用于带有可控串补及可控电抗器的750 kV输电线路保护和电抗器保护解决方案研究报告[R]. 西安: 西北电网公司, 2007.  
Northwest Grid. The study of 750 kV transmission line and reactor protection suitable to TCSC and TCR[R]. Xi'an: North-west China Power Grid Company, 2007.
- [7] 郑玉平. 串补线路继电保护的研究与同杆双回线继电保护及重合闸的研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2004.  
ZHENG Yu-ping. Study on protection for transmission line with SC and recloser of double-circuit lines in same tower[D]. Wuhan: Wuhan University, 2004.
- [8] 索南加乐, 刘凯, 粟小华, 等. 输电线路综合阻抗纵联保护新原理[J]. 电力系统自动化, 2008, 32 (3): 36-40.  
SUONAN Jia-le, LIU Kai, SU Xiao-hua, et al. New principle of differential protection based on the fault component integrated impedance[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(3): 36-40.
- [9] 索南加乐, 刘凯, 张悻宁, 等. 基于电阻性差流的差动保护新原理[J]. 电力系统自动化, 2007, 31 (16): 45-49.  
SUONAN Jia-le, LIU Kai, ZHANG Yi-ning, et al. New principle of differential protection based on the resistance component of differential current[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31 (16): 45-49.
- [10] 索南加乐, 何世恩, 粟小华, 等. 带可控串补和可控电抗器输电线路纵联保护新原理[J]. 西安交通大学学报, 2008, 42 (10): 59-63.  
SUONAN Jia-le, HE Shi-en, SU Xiao-hua, et al. New principle of comprehensive fault component impedance protection of transmission line with TCSC and TCR[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2008, 42 (10): 59-63.

收稿日期: 2009-12-27; 修回日期: 2010-03-09

#### 作者简介:

何世恩 (1961-), 男, 博士研究生, 高级工程师, 从事电力系统运行管理、继电保护新技术的开发和风电并网工作;

E-mail: he.shien@stu.xjtu.edu.cn; hofstadter2003@sina.com

索南加乐 (1960-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为电力系统继电保护稳定控制;

杨钺 (1980-), 男, 博士研究生, 主要研究方向为电力系统继电保护。

(上接第 86 页 continued from page 86)

State Electric Power Dispatching and Communication Center. power system relay protection rules collection[M]. Second edition. Beijing: China Electric Power Press, 2000.

#### 作者简介:

刘 华 (1955-), 男, 学士, 高级工程师, 从事电力系统继电保护管理工作; E-mail: jdbhzzhn@sina.com

田 芳 (1972-), 女, 硕士, 高级工程师, 从事电力系统继电保护整定计算和管理的工作;

张予鄂 (1963-), 女, 高级工程师, 长期从事电力系统继电保护研究及计算工作。

收稿日期: 2009-09-03; 修回日期: 2009-10-21