

# 内桥接线变压器保护电流回路接线方式的探讨

周建军, 樊庆玲, 樊高瑞

(南阳供电公司, 河南 南阳 473009)

**摘要:** 内桥接线方式下, 主变差动保护高压侧电流一般采取进线和分段电流并接求和的方式取得, 当主变高压侧发生外部短路或正常运行中发生 CT 开路时, 均可能会导致差动保护误动。误动的原因是进线和分段电流没有在保护装置内部软件求和, 导致保护装置感受到的二次电流与主变高压侧电流不一致, 当发生外部短路或 CT 开路时无法正确闭锁保护。提出了采用将进线和分段电流分别接入差动保护的解决方案, 并指出了保护运算处理过程中应注意的事项。

**关键词:** 差动保护; 二次回路; CT 断线; 内桥接线; 外部短路

## Discussion on current circuit of transformer protection with internal bridge connection

ZHOU Jian-jun, FAN Qing-ling, FAN Gao-rui

(Nanyang Power Supply Company, Nanyang 473009, China)

**Abstract:** The high voltage side current of main transformer differential protection may be obtained by method of sum current of section switch and line switch in internal bridge connection. Mal-operation of differential protection occurs when external short-circuit or CT break happens in high voltage side of transformer. The reasons of mal-operation lie in that the sum current of line switch and section switch is not finished in internal software of protection device, which lead to the inconsistency between secondary current felt by protection device and the high voltage side current of main transformer, therefore, the correct latch-up protection can not be realized, as external short circuit or CT break occurs. The method that currents of section switch and line switch joining to differential protection separately is introduced, proceedings of protection operation program are presented as well.

**Key words:** differential protection; secondary circuit; CT break; internal bridge connection; external short circuit

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2011)02-0152-03

## 0 引言

城区 110 kV 变电站出于节省占地的考虑, 经常采用内桥接线方式, 即高压侧为单母分段接线, 配置两回进线分别接于两段母线, 两回进线及分段间隔均配有开关、CT、刀闸, 主变高压侧没有开关、CT, 只有一组隔离刀闸。

由于主变高压侧没有 CT, 目前的设计思路一般是主变差动保护高压侧电流回路采用硬件接线求和的方法产生, 即与本台主变接于同一母线的进线和分段间隔 CT 二次回路在保护盘端子排处接相并接求和后<sup>[1]</sup>, 再接入主变差动保护高压侧电流回路, 从而实现了一次与二次接线的统一。

只要进线和分段间隔 CT 变比一致, 在一般情况下, 这种和电流均能正常反映主变差动保护高压侧电流, 不会出现拒动和误动情况。但当 110 kV 系统发生短路, 进线和分段间隔流过较大穿越性故障

电流时, 因二者 CT 的稳态误差特性不可能完全一致, 所产生的差流有可能引起差动保护误动; 当系统出现某种冲击, 二者 CT 的暂态误差特性不一致时, 所产生的差流也有可能引起差动保护误动; 进线或分段间隔 CT 根部至保护盘端子排这一段出现 CT 开路时, 和电流不能正确反映主变差动保护高压侧电流, 在某些运行方式下, 主变差动保护无法判断为 CT 开路, 而是将判为主变发生内部故障而引起差动保护误动。

本文对这两种可能引起的差动保护误动的原因做出了全面分析计算, 提出了内桥接线变压器保护电流回路二次接线改进方案。

## 1 差动保护误动的原因分析

### 1.1 CT 误差特性不一致导致差动保护误动

依据 DL/T684-1999《大型发电机变压器继电保护整定计算导则》规定, 差动动作电流最小动作门

槛应躲过变压器额定负载时的不平衡电流,  $I_{op.min}=K_{rel}(K_{cr} + \Delta U + \Delta m)I_N/n_a$ , 在实用整定计算中可选取  $(0.2 \sim 0.5) I_N/n_a$ <sup>[2]</sup>。分析图 1 所示的系统, 主变高压侧外部发生短路时, 很大的穿越性电流流经进线和分段间隔, 此时主变保护差动电流主要为  $I_1$ 、 $I_2$  的不平衡差流, 以 5P20 级 CT 为例, 如果此时进线和分段间隔 CT 一个为正误差, 一个为负误差, 不平衡差流最大可能为  $0.1I_d/n_a$ , 因主变中、低压侧没有流过短路电流, 不会产生相应的制动电流, 差流一旦大于动作门槛  $I_{op.min}$ , 就会导致保护误动作。

即使进线和分段间隔 CT 稳态误差特性一致, 当系统有某种冲击时, 如当一台主变工作, 一台主变充电投入时, 系统产生的和应涌流含有大量非周期分量, 当二组 CT 暂态特性不一致时会产生差流, 也可能导致运行主变保护误动。

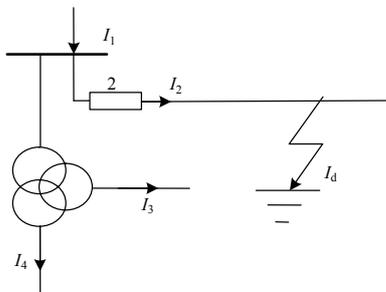


图 1 内桥接线主变电气接线图

Fig.1 Electrical connection diagram of main transformer with internal bridge connection

### 1.2 CT 开路导致差动保护误动

目前国内 110 kV 电网一般采用闭环设计、开环运行的供电方式, 故经常出现一条电源线路串带几台 110 kV 主变的情况。以图 2 所示系统例, 110 kV A 站为内桥接线, 线路 1 作为电源线带 A 站的 1# 和 2# 主变, 并通过线路 2 串带 B 站的 3# 和 4# 主变, 系统潮流分布如图 2 所示, 为分析方便, 图中电流均为折算至同一变比下的二次电流。

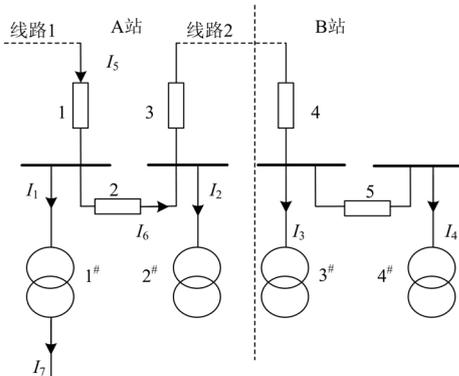


图 2 开环供电系统接线图

Fig.2 Electrical connection diagram of open loop power system

对 1# 主变差动保护来说, 其高压侧采用进线和分段电流和接线方式, 二者 CT 一次极性端必须一致, 假设极性端均放在非母线侧, 图 2 中所标电流流向均为实际潮流流向, 故  $\dot{I}_6$  的规定正方向与图中所示相反, 则  $\dot{I}_1$  为线路 1 电流  $\dot{I}_5$  与 A 站分段开关电流  $\dot{I}_6$  之和<sup>[3]</sup>。设流入 1# 主变差动保护高压侧电流 (未进行 Y— $\Delta$  补偿前的实际电流) 为  $\dot{I}_\phi$ , 正常运行情况下,  $\dot{I}_\phi = \dot{I}_1 = \dot{I}_5 + \dot{I}_6$ , 说明这种和电流接线能够正确反应主变高压侧电流<sup>[4]</sup>; 但当进线或分段间隔 CT 根部至保护盘端子排这一段任意一个环节出现 CT 二次开路时,  $\dot{I}_\phi$  均将由 CT 开路前的本主变高压侧电流值跳变至另外一个值, 其跳变幅度  $\Delta \dot{I}_\phi$  取决于开路点位置和系统潮流分配情况。若是进线 CT 开路,  $\dot{I}_\phi = \dot{I}_6 = -(\dot{I}_2 + \dot{I}_3 + \dot{I}_4)$ ,  $\Delta \dot{I}_\phi = -(\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 + \dot{I}_4)$ ; 若是分段 CT 开路,  $\dot{I}_\phi = \dot{I}_5 = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 + \dot{I}_4$ ,  $\Delta \dot{I}_\phi = \dot{I}_2 + \dot{I}_3 + \dot{I}_4$ 。

由此可知, 当进线间隔某相 CT 开路, 且各台主变负载较重时, 主变差动保护对应相的高压侧电流值上升至较大值, 其他各相电流均无变化。对于通过软件计算实现 Y— $\Delta$  补偿的微机主变差动保护, 正常运行时的差动电流为零, A 相差流  $\dot{I}_{CJ} = (\dot{I}_1 - \dot{I}_1 e^{j240^\circ}) / \sqrt{3} - n \dot{I}_7 = 0$ ,  $n$  为低压侧平衡系数, 计算进线 CT 开路时的 A 相差动电流测量值

$$\begin{aligned} \dot{I}_{CJ} &= (-\dot{I}_2 - \dot{I}_3 - \dot{I}_4 - \dot{I}_1 e^{j240^\circ}) / \sqrt{3} - n \dot{I}_7 = \\ &= (-\dot{I}_1 - \dot{I}_2 - \dot{I}_3 - \dot{I}_4) / \sqrt{3} = -\dot{I}_5 / \sqrt{3} \end{aligned}$$

可以看出当进线 1 所带负荷较重时, 差动电流测量值很可能会大于动作门槛。

再参照 PST1200 微机主变差动保护 CT 回路断线判据进行分析:

- 1)  $|\Delta I_\phi| \geq 0.1I_N$  且  $|I_H| < |I_Q|$
- 2) 相电流  $\leq I_{W1}$  且  $I_D \geq I_{W1}$
- 3) 本侧  $|I_a + I_b + I_c| > I_{W1}$
- 4)  $\max(I_{da}, I_{db}, I_{dc}) > I_{W1}$

其中:  $\Delta I_\phi$  为相电流差突变量;  $I_{da}, I_{db}, I_{dc}$  为 A、B、C 三相差流值;  $I_{cd}$  为差动保护定值;  $I_N$  为主变高压侧额定电流;  $I_Q$  为前一次测量电流;  $I_H$  为当前测量电流;  $I_D$  为无流相的差动电流;  $I_{W1}$  为无电流门槛; 取 0.04 倍 CT 额定电流, 同时满足 1) ~ 4), 立即判为 CT 断线并经控制字选择是否闭锁保护<sup>[5-6]</sup>。

由上述判据可知, 因开路相电流由  $\dot{I}_1$  增大至  $-(\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 + \dot{I}_4)$ , 不存在无流相, 此时仅能满足 3)、4), 不能判为 CT 断线, 无法闭锁保护, 且启动条

件已满足,当差动电流测量值大于  $I_{op.min}$  时,保护将误动作跳闸。

### 2 解决问题的方法

为解决内桥接线采用硬件接线求和可能会出现保护误动问题,最佳方案是采用软件求和方式,即将进线和分段间隔视为主变的电压等级、CT变比均相同的两侧,将其 CT 二次回路分别接入保护,然后由软件分别进行差动电流、制动电流、CT断线的计算处理。

为保证在主变区外故障具有可靠的制动作用,在区内故障有较高的灵敏度,如图 1 所示三圈主变,差动电流应取  $\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 + \dot{I}_4$ , 制动电流应取这四者模值较大者。进线和分段 CT 二次电流一定要作为主变的两侧电流来处理,严禁先对二者进行软件求和后,再进行差动、制动电流的计算以及 CT 回路断线的判断处理,由上节分析可知,进线和分段 CT 二次电流分别处理,当任一元件发生开路时,CT 回路断线判据 1)~4) 均满足,可立即判为 CT 断线,不会发生保护误动作。

对目前已经运行的采用硬件接线求和的内桥接线主变保护,则应在运行方式上采取措施,将高压侧桥开关断开,两台主变分裂运行,一定不能出现一回进线串带两台或多台主变的情况,同时尽快安排更换保护。

### 3 总结

本文分析了一次接线为内桥方式的主变保护采用传统接线,将进线和分段二次电流回路并接进差动保护,在外部故障或 CT 开路时可能出现差动保护误动的原因,提出了进线和分段作为主变的两侧接入差动保护后分别进行运算处理的解决方案,杜绝了可能发生的保护误动事故,消除了潜在的隐患,满足了系统安全稳定运行的要求。

### 参考文献

[1] DL/T 5136-2001 火力发电厂、变电所二次接线设计技

术规程[S].

DL/T 5136-2001 technical code for designing of electrical secondary wiring in fossil fuel plants and substations[S].

[2] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 1995: 250-270.

ZHU Sheng-shi. The theory and technique of high voltage power system protection[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1995: 250-270.

[3] 王维俭, 侯炳蕴. 大机组继电保护理论基础[M]. 北京: 水利电力出版社, 1989.

WANG Wei-jian, HOU Bing-yun. The theory of large generator and transformer protection[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1989.

[4] 张志强, 哈恒旭, 谭雨珍. 基于磁链平衡方程的变压器保护的关键问题的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37 (14): 1-5.

ZHANG Zhi-qiang, HA Heng-xu, TAN Yu-zhen. Study on the key issues of transformer protection based on magnetism-chain balance equation[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37 (14): 1-5.

[5] 邓祖前. 关于一起变压器差动保护动作的分析与处理[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38 (15): 139-142.

DENG Zu-qian. Analysis and processing on acting of differential protection of transformer[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38 (15): 139-142.

[6] 袁文嘉, 李敏霞, 姬希军. 一起区外故障引起主变差动保护动作的分析[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37 (23): 130-132.

YUAN Wen-jia, LI Min-xia, JI Xi-jun. Analysis of main transformer differential protection operation caused by external fault[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37 (23): 130-132.

收稿日期: 2010-01-15; 修回日期: 2010-03-09

#### 作者简介:

周建军 (1973-), 男, 硕士, 高级工程师, 工程硕士, 主要研究方向为继电保护; E-mail: zhoujianjunfr@163.com

樊庆玲 (1972-), 女, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统勘测与设计;

樊高瑞 (1976-), 女, 工程师, 主要研究方向为电力系统配网运行与管理。

(上接第 151 页 continued from page 151)

[7] 陈生贵, 等. 电力系统继电保护[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2003.

[8] 许涛. 一起 110 kV 主变零序过电压保护动作分析[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36 (18): 93-95.

XU Tao. Analysis of 110 kV main transformer zero-sequence overvoltage protection[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36 (18): 93-95.

收稿日期: 2010-01-27

#### 作者简介:

武万才 (1980-), 男, 硕士, 工程师, 从事继电保护和电力系统过电压方面的工作; E-mail: wwc19802000@163.com

聂会军 (1972-), 男, 工程师, 从事电气设备的运行和管理工作;

边疆 (1980-), 男, 助工, 从事高电压试验方面的工作。