

# 陕西电网 330 kV “12.5” 主变故障差动保护动作分析

雷明, 刘峰, 康林贤

(陕西省电力公司, 陕西 西安 710048)

**摘要:** 详细分析陕西电网 330 kV “12.5” 主变压器故障时差动保护装置的故障电流波形和数据, 梳理主变区内、外故障的实际过程, 研究主变内、外部故障特征和差动保护在区内、外转换复杂故障情况下的动作行为, 查明保护动作原因, 对变压器差动保护原理提出改进意见和建议。指出国产变压器抗短路能力不能满足 IEC 和国标的抗短路水平要求, 建议主变生产厂家优化主变的结构和制造工艺, 提高主变的制造质量。

**关键词:** 330 kV 自耦变压器; 故障分析; 差动保护

## 330kV main transformer differential relay operation analysis of 12.5 fault in Shaanxi Power Grids

LEI Ming, LIU Feng, KANG Lin-xian

(Shaanxi Electric Power Company, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** By thorough investigation of “12.5” 330kV transformer fault in Shaanxi power grids, the fault current waves and data from the transformer differential relays are analyzed. The actual transformer fault evolution sequence and relay operation behavior under the characteristics of external fault to coexistence of internal and external faults has been studied. The operation causes of relays are also put forward. Therefore, the suggestions of operating principles of transformer differential relays are presented. Finally, it concludes that the indigenously manufactured power transformer was unable to meet IEC and GB standard when high fault current level occurred in tertiary winding and transformer structure and manufacturing technique should be optimized by the manufactures to raise the transformer quality level.

**Key words:** 330kV auto-transformer; fault analysis; differential relay

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2008)22-00104-04

## 0 引言

大型变压器造价昂贵, 一旦发生内部故障, 修复费钱、费时和费力, 不但对电网安全稳定运行影响大, 严重时还会影响对用户的供电, 直接和间接损失很大。

西北电网绝大多数联络和降压变压器是 330 kV 自耦变压器, 其低压侧发生短路故障时, 不仅短路电流很大, 而且发生几率较高。近年来, 已发生多起变压器低压侧区外故障引起变压器损坏的事例<sup>[1]</sup>。本文介绍了陕西电网 330 kV “12.5” 自耦变压器的故障情况, 采用主变差动保护装置的故障数据, 分析主变故障的实际过程, 找出不同原理差动保护的動作特点, 对今后可能发生的类似故障的分析具有一定的参考和借鉴作用。

## 1 事故简述

2007 年 12 月 5 日 10 点 13 分, 陕西电网 330 kV 某变电站工作人员根据无功电压曲线要求调整电压, 对 1 号主变 35 kV 侧 1 号电容器组由热备用转运行, 在合 3511 开关时, 发生电容器本体开关爆炸, 导致内部先 B、C 两相接地短路故障, 后转为 A、B、C 三相接地短路, 由于短路电流较大, 造成#1 主变内部低压侧 A 相接地短路, 主变差动保护动作跳闸, 1 号主变损坏。

### 1.1 事故前运行方式

330 kV 某变电站一次主接线如图 1 所示, 330 kV 线路全部运行, #1, 2, 3 主变(3×240 MVA)110 kV 侧共带负荷 340 MW, 所有 110 kV 线路经母联、分段开关(3111、3112、2111)并列运行, 旁路开关冷备用, 4、7 组电容器组分别运行, 电抗器全部停

运。

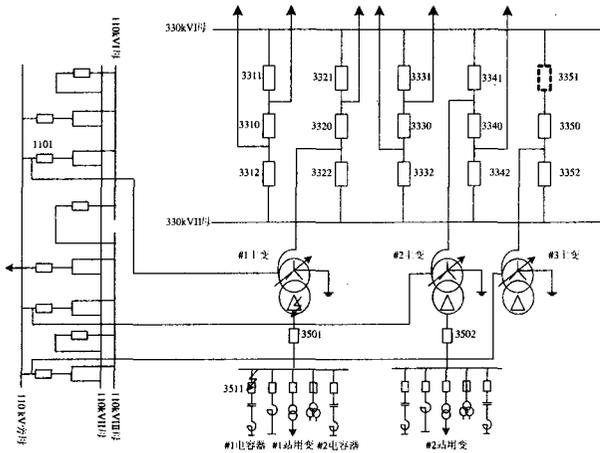


图 1 330 kV 某变电站主接线图

Fig.1 Main connection of the 330 kV substation

## 1.2 主变、保护配置和动作报告

330 kV 某变电站的 1 号主变型号为 OSFPSZ9-240000/330, 容量 240/240/72 MVA, 额定电压 330/121/35 kV, 是国内某变压器厂八六年七月出厂的产品。主变一次接线为 Y0/Y0/ $\Delta$ -11, CT 二次接线为 Y/Y/Y。主保护配置 2 套完全独立的国产主变差动保护, 甲为谐波制动原理差动保护<sup>[3]</sup>, 乙为波形对称原理和谐波制动原理差动保护<sup>[4]</sup>。

事故发生时, 1 号主变保护等装置的报文有:

- (1) 1 号主变甲保护屏: 保护动作灯亮, 显示屏显示差动保护跳三侧开关;
- (2) 1 号主变乙保护屏: PT 回路异常、跳闸位置 (中压侧操作箱、低压侧操作箱) 灯亮、三相失压, 差动及后备保护启动;
- (3) 3320 开关辅助保护柜: 跳 A、B、C 灯 (I、II) 亮;
- (4) 3322 开关辅助保护柜: 跳 A、B、C 灯 (I、II) 亮;
- (5) 1 号电容器保护装置过流 I 段出口;
- (6) 35 kV I 母接地掉牌。

从以上保护报文分析, 当时故障发生后甲保护动作出口跳 1 号主变的三侧断路器, 乙保护仅有差动、后备保护启动, 并未跳闸。

## 1.3 故障过程分析

故障时 1 号主变的各侧电流波形如图 2 所示, 其中  $I_{a1}$ ,  $I_{b1}$ ,  $I_{c1}$ ,  $I_{a2}$ ,  $I_{b2}$ ,  $I_{c2}$  分别为 3320、3322 断路器电流,  $I_{a3}$ ,  $I_{b3}$ ,  $I_{c3}$  为 1101 断路器电流,  $I_{a4}$ ,  $I_{b4}$ ,  $I_{c4}$  为 3501 断路器电流。故障过程

时序见图 3。从故障时保护装置和故障录波器记录的波形分析, 1 号主变低压侧区外 B、C 相间故障约 260 ms, 为图 3①段; 后发展为三相短路故障约 45 ms 为图 3②段; 随后 A 相电流明显减小, 主变内部低压侧 A 相接地短路约 29 ms, 为图 3③段; A 相电流幅值增大, 但并没有达到与 B、C 两相幅值相同水平, 这时为主变内部 A 相短路接地和外部三相接地故障并存约 36 ms 后故障消失为图 3④段, 反映保护动作切除了故障, 全部故障共持续约 370 ms。

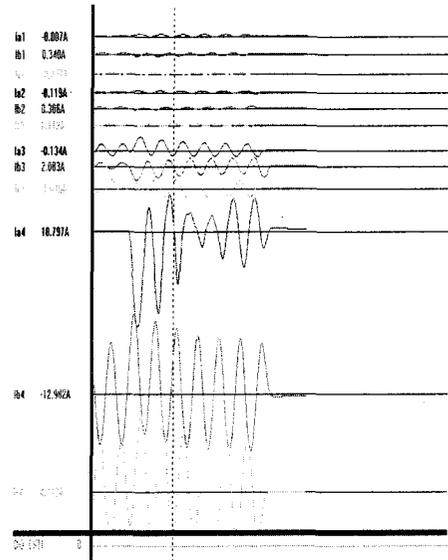


图 2 保护装置故障录波图

Fig.2 Recorded relay fault current oscillography

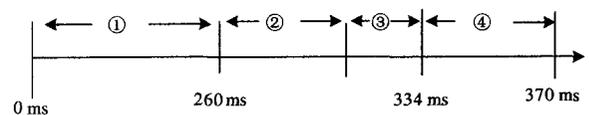


图 3 故障发生的动作时序图

Fig.3 Fault evolution sequence diagram

## 2 主变差动保护的動作分析

### 2.1 甲差动保护分析

如图 3 所示, 在故障发生的①段区外两相短路, 差流没有达到定值, 保护不会动作。

在故障发生的②段区外两相短路转换为区外三相短路故障, 差流依然没有达到定值, 保护仍不会动作。

在故障发生的③段区内单相接地故障和区外三相短路故障共存, 由于保护装置动作需要连续判断三个电流采样数据窗, 每个点前推一个完整的周

波计算差流,从区内故障开始,到差动保护判断为区内故障,需要约 23 ms 数据窗,因此区内故障 23 ms 后,即 328 ms 时刻(305 ms+23 ms=328 ms)差动元件动作,但此时故障波形中的谐波分量满足二次谐波闭锁条件,差动保护被二次谐波闭锁而不能动作,经过约 17 ms 后,即 345 ms 时刻(328 ms+17 ms=345 ms),故障电流波形的谐波分量衰减,二次谐波闭锁开放,差动保护出口,经过约 25 ms 故障切除。

## 2.2 乙差动保护分析

### 1) 谐波制动原理的差动保护

故障发生的①段为区外两相短路,由于差流较小,差流突变量启动元件、差流越限启动元件中任一元件均未启动,保护不会动作。

在故障发生的②段区外两相短路转换为区外三相短路故障,差流突变量启动元件、差流越限启动元件中任一元件启动,保护进入故障处理计算,292 ms 时刻已超过差动门槛定值动作,303 ms 时刻 A、B 相差流维持动作,这时仍为区外故障,谐波制动和制动电流在制动状态。

在故障发生的③段,309 ms 时刻, A、B 相差动一直维持动作状态,但比率制动开始开放,呈现内部故障的特征,由于此时电流的二次谐波含量超过定值 18%,加之装置在判断二次谐波制动时,采用延时 5 ms 再开放差动的逻辑,此时谐波制动闭锁,保护仍被制动无法动作。

在故障发生的④段,到 334 ms 开始 A 相谐波制动开始开放,但差动保护需要一个周波多的计算,才能动作出口,到 354 ms 时刻开始,由于高压侧第一个断路器已切除,出现非周期谐波分量导致 A 相谐波制动重新闭锁,使差动保护又需要重新一个周波的计算,此时甲保护已先动作切除故障。

### 2) 波形对称原理的差动保护

由图 3 所示,在故障发生的①段,情况与谐波制动原理情况相同,保护不会动作。

在故障发生的②段,对主变差动保护为区外两相短路转换为区外三相短路故障,差流突变量启动元件、差流越限启动元件中任一元件启动,差动保护进入故障处理计算,在 291 ms, A、B 相差流开始动作,但波形对称度和比率制动判据处在制动状态,故障仍在区外,保护不会动作。

在故障发生的③段 307 ms 时刻 A、B 相差流维持动作,这时 A 相制动电流开始开放,区内 A 相故障的特征开始显现,但是由于 A 相波形存在畸变,被波形对称度判据闭锁,保护无法动作。

在故障发生的④段的 336 ms 时刻,只有 A 相

差动一直维持动作状态,比率制动开始开放,从此时的 A 相电流波形看,波形逐渐对称,由于装置波形不对称度判据比谐波制动判据苛刻,闭锁时间比谐波制动时间长,加之存在 5 ms 延时再开放逻辑,此时波形对称度继续闭锁,保护仍被制动。357 ms A 相波形对称度开放,差动保护需要重新一个周波的计算,才能动作出口,此时甲保护已先动作切除故障。

## 3 1 号主变检查结果

1 号主变跳闸后,主变油化验结果分析确认主变本体内部有高能放电故障;电气试验结果分析 35 kV 低压绕组变形且三相电阻不平衡,与铁心绝缘降低;返厂解体吊罩检查,35 kV A 相低压线圈轴向及幅向发生变形,低压线圈绝缘端部破损,线圈上部弹出与铁心上铁轭相碰,铁轭插铁心接地片处部分烧伤,110 kV 中压绕组变形,线圈换位处导线局部匝绝缘损伤。

该变压器在 1989 年 4 月投运后,1995 年 2 月 19 日曾发生相同型号 35 kV 电抗器开关爆炸引起主变 35 kV A、B、C 低压线圈变形故障返厂更换低压绕组,并与当年 3 月 30 日投运,证明该类事故并非偶然。

## 4 结论

(1) 本次主变低压侧区外发生故障 0.3 s 后(区外两相故障持续约 0.26 s,又发展为区外三相短路并持续约 0.045 s),由于穿越故障电流大,故障时低压侧短路电流为额定值 14.56 倍,诱发主变低压侧内部故障,同时与外部故障并存,虽然内部故障时间仅持续不到 70 ms 就被切除,实际区内、外故障总持续时间只有 0.37 s,远比标准和规定的 2 s 小<sup>[6,7]</sup>,但最终造成变压器严重损坏并返厂修理,显示变压器实际承受短路能力远远不够,应从变压器制造的工艺和结构研究改进。

(2) 目前变压器均以差动保护和瓦斯保护作为内部故障的主保护,该类故障造成主变损坏,变压器差动保护能快速动作跳闸,而瓦斯保护未动,表明差动保护反映轻微匝间故障的灵敏度和快速性比瓦斯保护好。

(3) 主变内部故障初始阶段,有时故障电流中谐波含量并不小于 18%,造成谐波制动差动保护延时动作,具体原因应专门进行深入研究。传统的二次谐波闭锁原理的主变差动保护虽然在内部故障存在谐波分量时有所延时,但是只要设计合理,能够迅速动作。

(4) 差动保护灵敏度越高,动作速度越快,对变压器损坏可能性越小或容易修复,文献[5]认为更轻微的故障保护若不能立即动作也不会有严重后果的看法值得商榷。

(5) 由于波形对称原理是较新原理的差动保护,考虑到波形对称度判据的计算保守、苛刻,加之实际故障波形有畸变(存在直流分量和谐波分量),导致判断速度慢,影响保护出口。乙保护在二次谐波高于定值和波形不对称两种情况时,采用 5 ms 延时再开放的处理办法是导致在较短开放时间内差动未能出口的因素之一。

### 参考文献

- [1] 雷明,刘峰,康林贤,等.陕西电网“8.14”故障 330kV 主变压器差动保护动作分析[J].陕西电力, 2008, 36(7):30-33.  
LEI Ming, LIU Feng, KANG Lin-xian, et al. 330kV Main Transformer Differential Relay Operation Analysis of 8.14 Fault in Shaanxi Grids [J].Shaanxi Electric Power,2008,36(7):30-33.
- [2] 王世阁,钟洪璧.电力变压器故障分析与技术改进[M].北京:中国电力出版社,2004.  
WANG Shi-ge,ZHONG Hong-bi.Power Transformer Fault Analysis and Technical Improvement[M].Beijing: China Electric Power Press,2004.
- [3] 国电南京自动化股份有限公司.WBZ-500H 变压器保护装置说明书[Z].2006

Guodian Nanjing Automation Co.,Ltd.WBZ-500H Transformer Protection Device Technical Instruction Manual[Z]. 2006.

- [4] 国电南京自动化股份有限公司.PST-1200 系列数字式变压器保护装置说明书 [Z].2006.  
Guodian Nanjing Automation Co.Ltd.PST-1200 Series Digital Transformer Protection Device Technical Instruction Manual [Z]. 2006.
- [5] 朱声石.变压器轻微匝间故障的保护[J].电力自动化设备, 1999,19(1):23-27.  
ZHU Sheng-shi.Transformer Protection for Low Percentage Interturn Faults[J].Electric Power Automation Equipment, 1999,19(1):23-27.
- [6] IEC 76-5 (1976),Power Transformer, Part 5: Ability to Withstand Short Circuit[S].
- [7] GB-1094.6-2003,电力变压器第 5 部分:承受短路的能力[S].  
GB-1094.6-2003,Power Transformer Part 5:Ability to Withstand Short Circuit[S].

收稿日期:2008-06-26 修回日期:2008-07-15

### 作者简介:

雷明(1965-),男,高级工程师,主要从事电力系统继电保护整定计算和运行管理工作; E-mail: leiming@snepc.com

刘峰(1966-),男,高级工程师,主要从事继电保护管理工作;

康林贤(1964-),男,高级工程师,主要从事继电保护管理工作。

(上接第 96 页 continued from page 96)

### 参考文献

- [1] 张志竟,黄玉铮.电力系统继电保护原理与运行分析[M].北京:水利电力出版社,1995.  
ZHANG Zhi-jing, HUANG Yu-zheng. Power System Relay Principle and Operation Analysis[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press,1995.
- [2] ZONG Hong-liang, JIN Hua-feng,ZHU Zheng-fei, et al.Transformer Inrush Detected By the Variation of Magnetizing Imedance[J]. Proceedings of the CSEE, 2001,21(7):91-94.
- [3] CHEN Jian, LI Wei. Characteristic of Transformer Magnetizing Inrush Current and Its Practical Application[J].Hunan Electricity,2005,25(4):4-5.
- [4] ZHU Ya-ming, ZHENG Yu-ping, YE Feng, et al. Performance and Digital Realization of Transformer Differential Relay Based on Dead Angle Philosophy[J].

Automation of Electric Power System, 1996, 20(11).

- [5] MA Jing, XU Yan, WANG Zengping, et al.A Novel Adaptive Scheme of Discrimination Between Internal Faults and Inrush Currents of Transformer Using Mathematical.

收稿日期:2008-01-24; 修回日期:2008-02-28

### 作者简介:

李书勇(1979-),男,硕士,工程师,从事直流输电系统的运行维护工作,研究方向为高压直流输电和电力信息处理;E-mail:oliver0057@tom.com

张海凤(1976-),男,工程师,从事高压直流输电系统的技术管理工作;

张鹏(1954-),男,高级工程师,从事高压直流输电系统的技术管理工作。