

空投变压器导致线路差动误动的事故分析

战学牛¹, 陈月红², 刘太华³, 王海玲³

(1. 包头市供电局, 内蒙古 包头 014030; 2. 柳州市供电局, 广西 柳州 545000;

3. 北京德威特电力系统自动化有限公司, 北京 101318)

摘要: 介绍了一起在特殊运行方式下由空投变压器导致线路差动误动的发生过程, 分析了保护误动的原因。导致事故发生的原因主要有三点, 一是特殊运行方式, 二是空投变压器产生的励磁涌流中的直流分量导致 CT 暂态饱和, 三是线路差动保护所用的电流互感器特性差异较大。针对以上原因, 提出了防止类似事故再次发生的几点改进措施与建议, 如, 线路两侧应该配合使用相同特性的电流互感器, 特殊运行方式下的保护校验等。希冀广大同行能够从这次事故中得到一些有益的参考。

关键词: 励磁涌流; CT 饱和; 线路差动; 误动

A mal-operation analysis of line current differential protection caused by no-load transformer

ZHAN Xue-niu¹, CHEN Yue-hong², LIU Tai-hua³, WANG Hai-ling³

(1. Baotou City Power Supply Bureau, Baotou 014030, China;

2. Liuzhou Power Supply Bureau, Liuzhou 545000, China

3. Beijing Devot Power & Automation Co., Ltd, Beijing 101318, China)

Abstract: The paper introduces line differential protection mal-operation caused by no-load transformer. The paper proposes three reasons. First, the system is running on a special condition. Second, inrush current leads to CT saturation. The last, CT performances of two terminals are very different. The paper brings forward some improvements to prevent similar fault to take place again. It is hoped that this paper will be a reference for protection engineers.

Key words: inrush current; CT saturation; line differential protection; mal-operation

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2007)23-0066-04

0 引言

国家颁布的继电保护相关规范中, 明确要求相应保护必须具备一定的抗 CT 饱和的能力, 应该能够在 CT 到达饱和区前识别饱和并闭锁保护, 此点是一个非常重要的考核内容。然而, 因为电流互感器的制造水平差异以及饱和曲线的差异, 至今也没有一个准确的量化标准来评估保护装置的抗 CT 饱和能力。尽管保护装置通过了动模试验, 但是由 CT 饱和导致的误动和拒动时有发生。保护厂家和电力公司不断的从技术上和管理上进行改进, 力求避免类似事故的发生。

本文介绍了一起在特殊运行方式下由空投变压器导致线路差动误动的发生过程, 分析了保护误动的原因。文章认为导致事故发生的原因主要有三点, 一是特殊运行方式, 二是空投变压器产生的励磁涌流中的直流分量引起了 CT 暂态饱和, 三是线

路差动保护所用的电流互感器饱和和特性差异较大导致差动电流过大保护动作。针对以上原因, 文章提出了防止类似事故再次发生的几点改进措施与建议, 希冀广大同行能够从这次事故中得到一些有益的参考。

1 事故发生过程

1.1 运行方式与保护配置

图 1 为系统的单线图, SF 线为 F 变电站变进线, 经刀闸直接接入 220 kV I 母。F 变的两台主变容量均为 150 MW, 当时 220 kV I 母 2#主变退备, 202 开关在分位, 1#主变正在送电过程中, 其低压侧开关 351 在分位。SF 线保护配置了双套光纤纵差差动保护, 分别是南瑞的 RCS-931B 和许继的 WXH-803, S 变电站侧 256 开关投单相重合闸, F 变电站侧无重合闸。F 变的 1#主变分别配置了南自的 WBZ-500H 和许继的 WBH-800 保护。

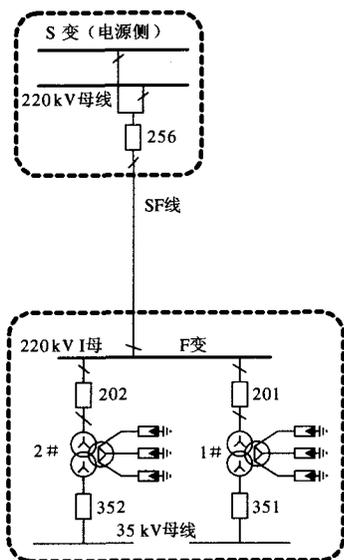


图 1 系统单线图

Fig.1 The single line figure

1.2 动作情况

2006年2月15日1:25分F变电站变1#变工作结束,申请送电。在SF线S变电站侧向线路充电完毕后,F变电站合1#变201开关向主变送电。此时SF线S变电站侧RCS-931B纵差保护动作,跳256C相开关,然后重合成功。F变电站侧RCS-931B纵差保护动作,跳201开关三相。1#主变的两套保护均无动作。

1.3 故障录波

S变电站RCS931B的电流电压录波图见图2。

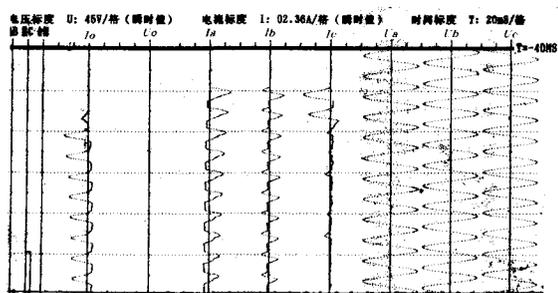


图 2 S 变电站 RCS931B 电流电压故障录波图

Fig.2 Voltage and current waveform of S substation RCS931B

F变电站RCS931B的电流电压录波图见图3。

2 事故分析

2.1 事件中没有故障发生

从故障录波数据中可以看到,在整个过程中,S变电站及F变电站故障录波及保护报告中均显示,220kV电压正常,无任何故障分量。结合当时的运

行方式,分析认为SF线及F变电站1#变无故障发生。

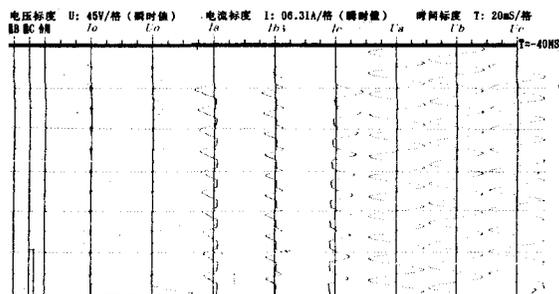


图 3 F 变电站 RCS931B 电流电压故障录波图

Fig.3 Voltage and current waveform of F substation RCS931B

2.2 励磁涌流

S变电站及F变电站故障录波曲线显示,在合闸后三相均有电流,但该电流偏于时间轴一侧,有明显的间断,并呈衰减状,具有典型的励磁涌流特点;F站的A、C为偏向一侧的励磁涌流,而B相为对称性涌流。因此初步断定F变电站对1#变充电时产生了较大的励磁涌流。另外在当日2:12再次充电并成功后,故障录波亦记录下1#变的涌流,但幅值要小的多。

2.3 CT饱和

通过对录波数据的分析中发现,励磁涌流中含有非周期和大量高次谐波。S变电站变故障录波显示,励磁涌流中含有初值为-1.26A,衰减时间为174.2ms的直流分量。显然,直流分量引起了CT的C相发生暂态饱和,S站的C相电流在不到一个周波时即不能被CT传变,发生了严重的CT饱和。此时电流互感器饱和一二次侧的电流不再是线性关系,二次电流波形将发生畸变。S变电站变RCS-931B报告显示,S变电站侧三相电流互感器均有不同程度饱和,其波形为锯齿波和半波。其中以接入RCS-931B的C相电流互感器饱和最为严重,在涌流产生2个周波后,严重饱和,使二次电流波形为幅值极低的直线(幅值接近为0)。F变电站RCS-931B报告显示,三相电流互感器也发生饱和。其中A、B相是与S变电站侧反相等幅值的锯齿波,C相为2.91A的脉动波。(S变电站与F变电站采用的电流互感器变比不同,S变电站1500/5,F变电站600/5)。F变电站、S变电站的故障录波也显示出电流互感器饱和。

2.4 RCS-931B 动作分析

由2.3知S变电站侧RCS-931B感受C相电流为0A,F变电站侧2.91A。经计算F变电站侧C相差流为1.16A,S变电站侧为2.91A。由S变电

站及 F 变电站 RCS-931B 报告显示, F 变电站侧 C 相差流为 1.14 A, S 变电站侧 3 A, 与计算值接近。SF 线 RCS-931B 纵差保护动作电流定值为: S 变电站 1 A, F 变电站 2.5 A。RCS-931B 保护感受到的差流超过定值, 所以纵差保护动作。纵差保护动作时刻为 157 ms, 而直流分量衰减时间为 174.2 ms。即纵差保护是在直流分量存在的时间内动作的, 此时电流互感器仍在饱和中。由于 F 变电站侧不投重合闸, 所以保护动作跳 201 三相开关, 不重合。S 变电站侧投单重, 跳 256C 相开关, 1 s 后重合, 此时 F 变电站侧 201 开关已在分位, 无涌流, 所以重合成功。

表 1 RCS-931B 差流计算

Tab.1 Calculation of RCS-931B differential current

项目	S 变电站	F 变电站
CT 变比	1500/5=300	600/5=120
本侧二次电流	0 A	2.91 A
对侧二次电流(同变比折算后)	2.91*120/300=1.164 A	0 A
计算差流/A	1.164-0=1.164	2.91-0=2.91
保护记录差流	1.14 A	3 A
差动定值	1 A	2.5 A

2.5 WXH-803 差动的分析

表 2 WXH-803 差流计算

Tab.2 Calculation of WXH-803 differential current

项目	S 变电站	F 变电站
CT 变比	1500/5=300	600/5=120
本侧二次电流	10.43 A	4.19 A
对侧二次电流(同变比折算后)	4.19*300/120=10.475 A	10.43*120/300=4.172 A
计算差流	10.475-10.43=0.045 A	4.19-4.172=0.018 A
差动定值	1 A	2.5 A

同一线路同一电流互感器, 为什么 WXH-803 纵差保护不动? 经检查发现 SF 线 WXH-803 与 RCS-931B 使用了电流互感器的不同绕组。录波显示 WXH-803 与 RCS-931B 所用 CT 绕组的饱和程度不同。两侧 WXH-803 使用电流互感器绕组基本没有发生饱和, 在 S 变电站侧, WXH-803 与故障录波使用同一绕组。由故障录波数据分析可知, 电流最大相为 C 相, 峰值为 4.19 A。F 变电站侧故障录波显示电流最大相也同为 C 相, 峰值为 10.43 A。将这两个电流按同一变比折算后我们可以看出, (S 变电站与 F 变电站采用的电流互感器变比不同, S 变电站 1500/5, F 变电站 600/5) 经计算 F 变电站 C 相差流 0.05 A, S 变电站为 0.02 A, 均低于差动定值, 所以 WXH-803 纵差保护未动。

如图 4 为将两站的录波经时间同步后的三相电流波形, 两侧与 WXH-803 保护共用同一线圈的 CT 未发生饱和, 因而差流较小, 保护躲过了此励磁涌流。

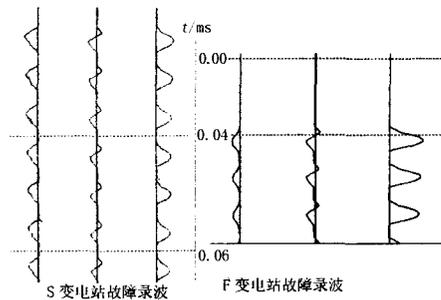


图 4 两站录波屏的电流电压故障录波图

Fig.4 Current waveform of F and S substation

3 结论与建议

3.1 特殊运行情况下保护的配置

特殊的运行方式决定了这一事故的独特性。显然这是一种过渡期的运行方式, 因而对保护的配置欠缺考虑。对线路保护而言, 要求具备一定的抗 CT 饱和能力, 要求其能够正确的识别区外线路故障时大的穿越电流导致的 CT 饱和并闭锁保护, 原则上不需要考虑变压器充电时的励磁涌流。因此现在要求其正确地识别励磁涌流而闭锁保护是不现实的。

S 变电站侧出于成本的考虑, 各过渡期线路通过刀闸直接接入母线, 显然这样的考虑是欠妥的。开关未配置完整的充电保护不能识别励磁涌流, 因此在过渡运行方式下的保护配置必须谨慎进行。依照长期设计规划, 显然 SF 线将通过断路器连接到母线, 变压器的充电将由 S 变电站母线来进行, 此时完整的变压器差动保护将会识别励磁涌流而不再误动。

3.2 改善 CT 饱和特性

对于常规电磁耦合方式的电流互感器, 通常有如下几种措施来延长其线性区域, 改善其饱和特性 [2,4]。

- 1) 尽可能的缩短二次电缆的长度并增大导线截面, 减小二次回路的电阻, 如将保护装置就地安装就可以极大的减小二次回路电阻。
- 2) 选用交流功耗较小的继电保护装置。
- 3) 减小 CT 的二次额定电流, 由于功耗与电流的平方成正比, 将二次额定电流从 5 A 降至 1 A, 在负载阻抗不变的情况下, 相应的二次回路功耗降低了 25 倍, 互感器不容易饱和。

4) 改进 CT 的饱和特性,如采用 TPY 级电流互感器或选用带小气隙的 PR 级电流互感器等。

另外一种避免 CT 饱和的方法是采用无饱和的光电电流互感器^[3]。现今国内已经有多个采用光电电流互感器的数字化变电站投入运行,现场运行反馈良好^[5,6]。主要有两种原理的实现,基于 Rogowski 线圈原理和法拉第磁光效应原理^[5]。

此外,还可以采用抗饱和能力强的继电保护装置,如采用对电流饱和不敏感的保护原理或保护判据。或者是有效地利用电流不饱和段的信息,在电流饱和前就做出正确的判断,如高阻抗电流差动继电器,就是一种典型的抗 CT 饱和实现。

3.3 互感器的配合

在这次事故中我们可以看到,如果合理地选择两侧的电流互感器,这样的误动还是可以避免的。事实上,国家的相关规程中已经有了类似的规定。在国网公司 2005 年颁布的十八项反措中,第 14.3.7 项中明确要求差动用电流互感器的相关特性应一致。最简单的办法是选用同一厂家同一型号的电流互感器;如果不具备这一条件,那么就on应该测试线路两侧各组电流互感器的伏安特性,选择出饱和特性接近的绕组配合线路纵差保护使用。如果情况允许,电力公司应对其管辖范围内的线路纵差保护用电流互感器进行全面的伏安特性试验,选择特性配合使用。尤其对同一线路,一侧使用新电流互感器,另一侧使用老旧电流互感器的保护更应密切关注。

这次事故中,S 变电站与 F 变电站采用的电流互感器变比不同,S 变电站 1500/5,F 变电站 600/5,相差 1 倍以上,饱和特性必然不同。两套主保护所用的二次绕组的抗饱和能力也不同,S 变电站与 F 变电站 RCS-931B 用电流互感器饱和特性相差甚远,S 变电站侧的 C 相在 2 个周波后完全饱和,F 变电站侧则没有发生饱和。

3.4 励磁涌流^[7]

空充主变会产生励磁涌流,励磁涌流的特性会引起电流互感器饱和。励磁涌流随变压器投入时系统电压的相角,变压器铁芯的剩余磁通和系统电源阻抗等因素有关。如下图是一个典型的励磁涌流曲线,其幅值可以达到变压器额定电流的 5~10 倍,在极端条件下,峰值可以达到 30 倍的额定值。这样大的电流很容易导致 CT 饱和。

因此如何防范由励磁涌流导致的保护跳闸极为重要。某些变压器可以通过适当的电阻进行充电以降低励磁涌流,电阻不仅能降低励磁涌流的数值而且显著增加阻尼作用,这种情况下,差动保护不易误动。必要时提高保护的突变量电流值来躲过励

磁涌流。在文献[8]中,还提出了一种改进的选相位关合技术来抑制励磁涌流的办法。

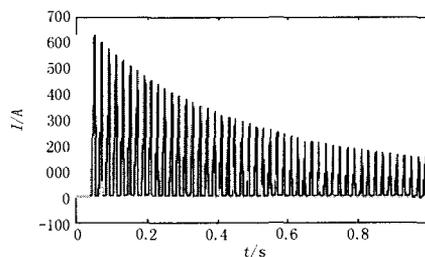


图 4 典型励磁涌流曲线

Fig.4 Typical inrush current

另外,从变压器寿命观点来看,在励磁涌流过程中不希望跳开变压器,因为断开纯电感电流会产生很高的电压,可能会危害变压器的绝缘,间接的造成内部短路。而变压器是一个变电站中成本最高的设备,其成本通常占变电站总成本很大的一部分。

4 结语

本文系统地分析了一起事故的发生过程及事故成因,尽管这一事故只在一种特定的过渡阶段发生,然而其事故经验与教训却不可忽视。希冀本文的论述能够为广大同行避免类似事故发生提供参考并有所帮助。

参考文献

- [1] Blume L F. Transformer Engineering[M]. New York: Wiley & Sons, 1951.
- [2] Karsai K, Kerényi D, Kiss L. Large Power Transformers[M]. New York: Elsevier, 1987.
- [3] 尚秋峰,王仁洲,杨以涵. 光学电流互感器及其在电力系统中的应用[J]. 华北电力大学学报,2001,28(2). SHANG Qiu-feng, WANG Ren-zhou, YANG Yi-han. Application of Optical Current Transducer in Electric Power System[J]. Journal of North China Electric Power University,2001,28(2).
- [4] 王志华,张振旗,孟宪民,等. 电流互感器饱和对继电保护影响的分析及对策[J]. 电力系统自动化,2000,24(6). WANG Zhi-hua, ZHANG Zhen-qi, MENG Xian-min, et al. Influence of the Current Transformer Saturation on Relay Unit and Its Countermeasures in Medium Voltage Power System[J]. Power System Technology,2006,24(6).
- [5] 曹敏,叶锋,熊志全,等. 数字化变电站的应用研究[A]. 中国电机工程学会年会论文集[C]. 2006. CAO Min, YE Feng, XIONG Zhi-hui, et al. The Research of Digital Substations Application[A]. In: CSEE[C]. 2006.

(下转第 76 页 continued on page 76)

果。

参考文献

- [1] LI Yong-chao, LIU Wen-ding. A Water Supply System of Telemeter and Remote Control Based on Neural Fuzzy Control Technique[A]. In: The 5th International Symposium on Test and Measurement (ISTM)[C]. 2003. 1269-1272.
- [2] 李永超, 马谦, 张国钧. 洗煤厂过滤机液位计算机监控系统[J]. 能源基地建设, 2002, (6): 40-42.
LI Yong-chao, MA Qian, ZHANG Guo-jun. The Computer Integrated Monitoring System for Pulp Level of a Filter in Large Coal Preparation Plant[J]. Energy Base Construction, 2002, (6): 40-42.
- [3] 许继集团公司. SJK-8000 水电厂自动化系统技术说明书[Z].

(上接第 69 页 continued from page 69)

- [6] 李九虎, 罗苏南, 郑玉平. 变电站过程层的数字化[A]. 中国电机工程学会年会论文集[C]. 2006.
LI Jiu-hu, LUO Su-nan, ZHENG Yu-ping. The Realization of Process Level of Digital Substation[A]. In: CSEE[C]. 2006.
- [7] Kasztenny B, Kulidjian A. An Improved Transformer Inrush Restraint Algorithm Increases Security While Maintaining Fault Response Performance[A]. In: 53rd Annual Conference for Protective Relay Engineers[C], 2000.
- [8] 郝治国, 张保会, 褚云龙, 等. 变压器空载合闸励磁涌流抑制技术研究[J]. 高压电器, 2005, (2).
HAO Zhi-guo, ZHANG Bao-hui, CHU Yun-long, et

(上接第 72 页 continued from page 72)

重合闸、节能等功能, 抗干扰性强。这种新型的保护器有效地减少了保护器的跳闸次数, 提高了设备投运率, 在很大程度上解决了用电安全和供电稳定的矛盾, 为分级保护提供了一种新的保护模式。

合理选用漏电保护开关可以大大提高安全用电水平, 减少人身伤亡事故。自漏电保护开关这项漏电保护技术开展以来, 对保护人身安全和财产安全起了很好的作用, 其效果已是很明显的, 因此应得到广泛的应用。

参考文献

- [1] GB50054-95, 低压配电设计规范[S].
GB50054-95, Code for Design of Low Voltage Electrical Installations[S].

XJ Group Corporation. The Technical Manual of SJK-8000 Hydropower Station's Automation System Ver-1.0[Z].

- [4] Modicon Modbus Plus Network BM85 Bridge Multi Plexer User Guide (890 USE 103 00), Version 1.0[Z].
- [5] Modicon Quantum Hot Standby Planning and Installation Guide (840 USE 106 00) [Z].

收稿日期: 2007-02-08; 修回日期: 2007-05-10

作者简介:

李永超(1978-), 男, 工学硕士, 现从事电力系统发电自动化方面的研究与应用工作; E-mail: yongchao-li@163.com

李炜(1979-), 女, 助理工程师, 硕士, 研究方向为交流励磁风力发电机控制技术研究。

al. Study on Inrush Current Restraining Technology when Energizing No-load Transformer[J]. High Voltage Apparatus, 2005, (2).

收稿日期: 2007-04-11; 修回日期: 2007-07-10

作者简介:

战学牛(1974-), 男, 工程师, 主要从事继电保护的检修与维护工作; E-mail: zhanxueniu@126.com

陈月红(1973-), 女, 工程师, 从事变电运行安全管理工作;

刘太华(1969-), 男, 主要从事变电站自动化系统设计与管理工作。

[2] GB50052-95, 供配电系统设计规范[S].
GB50052-95, Code for Design of Electric Power Supply Distribution System[S].

- [3] 杨成德. 低压配电系统接地和接零保护[J]. 电工技术, 2000, (7).
YANG Cheng-de. Grounding and Zero-Connection Protection of Low Voltage Electrical Installation System[J]. Electrotechnics, 2000, (7).

收稿日期: 2007-05-10; 修回日期: 2007-06-01

作者简介:

王仕昆(1967-), 男, 电力工程工程师, 从事配网运行管理工作. E-mail: tswsk@163.com