

智能变电站母线保护频繁起动试验验证 及其故障机理分析

周文越¹, 李 霞², 郑永康¹

(1. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610072; 2. 国网成都供电公司,
四川 成都 610041)

摘要: 某500 kV智能变电站的220 kV母线保护在一次系统无故障的情况下, 不定期出现因差流过大导致保护频繁起动的问题。通过科学的试验方法对故障机理开展了研究, 试验结果表明, 母线差动保护接入的支路数量、CT电流比和负荷电流等因素使母线差动保护的差流测量产生了误差, 从而导致保护频繁起动。由此, 推测出保护算法缺陷导致了此问题。并对相应的程序进行修改和试验验证。

关键词: 智能变电站; 母线保护; 故障分析; 试验验证

Test verification and failure mechanism analysis of bus protection frequent start-up in a smart substation

ZHOU Wenyue¹, LI Xia², ZHEN Yongkang¹

(1. Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610072, China; 2. Chengdu Power Supply Company, Chengdu 610041, China)

Abstract: In a 500 kV smart substation, in the case of a fault-free system, the problem of frequent start-up of 220 kV busbar protection due to a large difference in flow is irregular. The failure mechanism was studied through scientific test methods. The test results show that the number of branch connections, the ratio of CT transformation, and the load current, etc., which are connected to the busbar protection, cause errors in the differential measurement of the busbar protection which resulted in protection frequent start-up. Based on this, it is inferred that the defect of the protection algorithm leads to this problem. The corresponding program is modified and tested.

Key words: intelligent substation; bus protection; fault analysis; experimental verification

0 引言

母线保护作为变电站中重要的继电保护设备, 肩负着快速切除母线故障的重要使命, 母线保护的拒动或误动都将给电力系统带来严重的冲击^[1-7]。本文对一起500 kV智能变电站的220 kV母线保护频繁起动事件进行了分析, 通过试验找到了事件发生原因, 并推测出保护算法上的缺陷, 据此对保护算法进行了修改, 最后对整改后的保

护再次进行了试验验证。

1 事件简述

某500 kV智能变电站220 kV母线部分采用双母单分段接线形式, 其一次接线如图1所示。该220 kV母线配置两套母线保护, 两套母线保护均接入24个间隔, 包括17个线路间隔、两个母联间隔、1个分段间隔以及两个主变压器间隔。

该220 kV母线所配置的1[#]母线保护自投运以来,在一次系统无故障情况下频繁起动,保护起动时的故障录波如图2所示。而2[#]母线保护无此现象,因此,初步怀疑1[#]母线保护自身的缺陷导致了此现象。

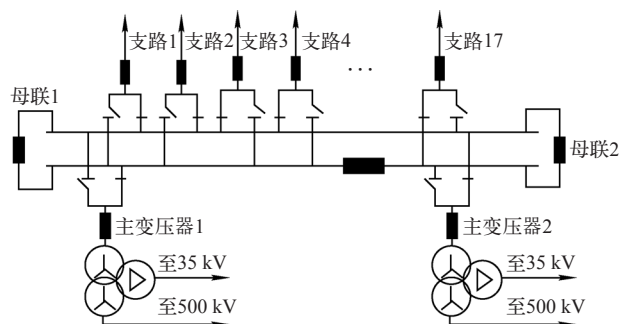


图1 220 kV母线一次接线图

Fig.1 220 kV Bus primary electric wiring diagram

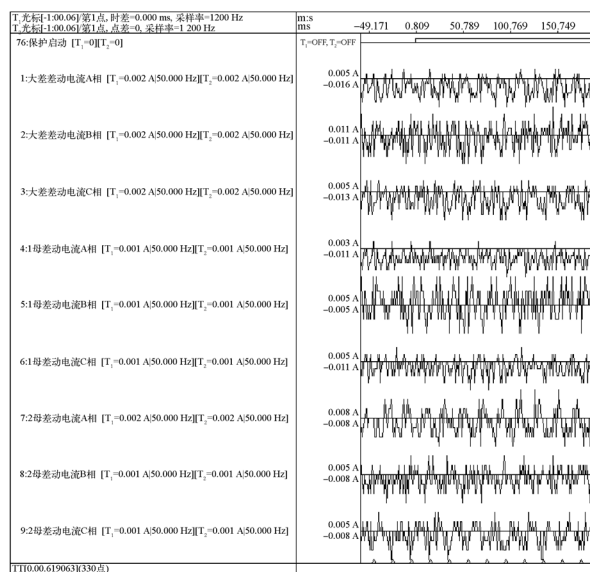


图2 故障录波图

Fig.2 Fault current recorded diagram

2 事件分析

2.1 故障现象分析

1[#]母线保护有三种起动条件,满足其中一种条件时,保护便会起动,三种起动条件分别如下。

(1) 电压变化量起动条件

当任一母线的任一相基波电压变化量大于门坎(由浮动门坎和固定门坎构成)时,该起动条

件满足,其判据为

$$u > \Delta U_T + 0.05 U_N \quad (1)$$

式中, Δu 为相电压变化量瞬时值; U_N 额定相电压; ΔU_T 为浮动门坎,随着变化量输出变化而逐步自动调整。

在PT断线的情况下,自动退出该判据。

(2) 电流变化量起动条件

当制动电流变化量大于门坎(由浮动门坎和固定门坎构成)时该起动条件满足,其判据为

$$i_d > \Delta I_T + 0.5 I_N \quad (2)$$

式中, Δi_d 为制动电流变化量瞬时值; I_N 为额定电流; ΔI_T 为浮动门坎,随着变化量输出变化而逐步自动调整。

(3) 差流起动条件

当任一相差动电流大于差流起动值时,该起动条件满足,其判据为

$$I_d > I_{dz} \quad (3)$$

式中, I_d 为大差相电流; I_{dz} 为差动电流起动定值。

对于1[#]母线保护而言,其差动电流起动定值为1.2 A,二次额定电流为5 A,基准电流比为2 500 A,各支路中最大CT电流比为5 000 A。为防止因基准变比整定不当造成采样电流被过分放大或缩小,该母线保护实际以最大电流比作为内部基准电流比进行归算。故各支路采样值以5 000 A内部基准电流比进行归算,同时电流定值在内部均以5 000 A内部基准电流比进行归算,因此母线保护内部用于计算的差动电流起动定值实际为0.6 A。

在母线保护频繁起动时,现场工作人员查看保护装置面板,发现装置显示正常,且差流显示为零。进一步,通过保护调试工具连接装置后,读取装置内部计算用差流,其波形如图3所示。

从图2中可以看出,各支路采样电流计算得出的差动电流存在较大波动,且在此录波时间段内,最大值达到了0.6 A。由起动条件式(3)可知,当差动电流幅值超过内部差动起动定值0.6 A时,差动保护起动。

从上述的故障现象分析可得出,1[#]母线保护的频繁起动是由其计算差流满足差流起动条件而

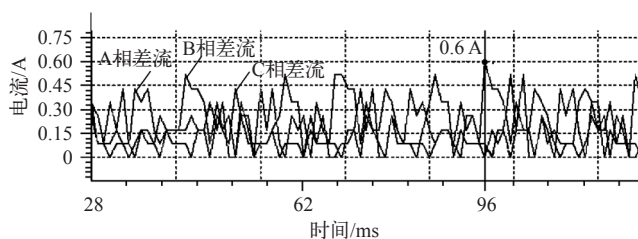


图3 计算用差流波形

Fig.3 Recorded waveforms of calculation differential current
 致。由于该母线保护接入的支路数量较大,达到24个,采样误差的累计将使计算差流误差被放大。因此,可初步推断,母线保护各支路采样噪声累积可能是导致差流超过差动电流起动定值的原因。

2.2 试验验证

故障母线保护的试验验证内容分为两个部分,分别为验证母线保护基本性能的常规试验和差流异常专项试验。

常规试验内容为:装置软件版本核查;装置工作电源适应性检查;流量准确度检查;开入开出量检查;母线差动保护定值检验。

试验结果表明,装置基本性能满足相关规程要求^[8-9]。

根据上文的差流异常产生原因推断结果,制定了差流异常专项试验的内容。分别考虑CT电流比、基准电流比、支路数量和负荷水平等因素对差流测量误差影响,具体试验内容如下。

(1) CT电流比差异对差流零漂测量结果的影响试验

基准电流比设置为25 000/5,仅投入一个支路,检查CT电流比分别设置为500/5、1 000/5、1 500/5、2 000/5、2 500/5和5 000/5时的差流零漂值,每次测量时间不小于10 min,并逐步调整差动定值为 $0.8I_{dz}$ 、 $0.6I_{dz}$ 、 $0.4I_{dz}$ 和 $\min I_{dz}$ 。观察保护起动情况。

(2) 基准电流比差异对差流零漂测量结果的影响试验

CT电流比设置为2 500/5,仅投入一个支路,检查基准变比分别设置为500/5、1 000/5、1 500/5、2 000/5、2 500/5和5 000/5时差流零漂值,每次测量时间不小于10 min,并逐步调整差动定值

为 $0.8I_{dz}$ 、 $0.6I_{dz}$ 、 $0.4I_{dz}$ 和 $\min I_{dz}$ 。观察保护起动情况。

(3) 支路数量对差流零漂测量结果的影响试验
 投入所有24个支路,基准电流比设置为2 500/5,检查CT电流比分别设置为625/5、1 250/5、2 500/5和5 000/5时的各支路零漂及差流零漂值,每次测量时间不小于10 min,并逐步调整差动定值为 $0.8I_{dz}$ 、 $0.6I_{dz}$ 、 $0.4I_{dz}$ 和 $\min I_{dz}$ 。观察保护起动情况。

(4) 支路负荷水平对差流测量结果的影响

基准电流比设置为2 500/5,将接入保护的所有支路的其中20回线路支路电流回路两两反极性串联在一起,分别在各支路电流比为625/5、1 250/5、2 500/5和5 000/5条件下,模拟支路负荷分别为 $3\%I_n$ 、 $5\%I_n$ 、 $10\%I_n$ 、 $20\%I_n$ 和 $50\%I_n$ 的负荷水平(I_n 为二次额定电流),检查保护动作行为及差流水平,每次测量时间不小于10 min,并逐步调整差动定值为 $0.8I_d$ 、 $0.6I_d$ 、 $0.4I_d$ 和 $\min I_d$ 。观察保护起动情况。

(5) 母线保护在现场实际运行定值下的噪声差流测量结果检查

按定值单定值设置保护定值,投入相应的支路,在不同支路电流比下测试支路零漂及差流零漂,每次测量时间不小于10 min。观察保护起动情况。

(6) 轻负荷状态下的噪声差流测量结果检查

按定值单定值设置保护定值,投入所有的支路,分别测试不同电流比下各支路轻负荷($3\%I_n$)状态下的噪声差流,每次测量时间不小于10 min。观察保护起动情况。

(7) 各支路负荷接近现场实际的情况下进行差流测试

根据现场录波文件支路负荷水平,采用简化计算方法,设置主变压器1、主变压器2、支路1和支路2流入,其他线路支路流出,其中支路2、支路3负荷占50%,支路4、支路5和支路6负荷占45%,其他线路占5%,运行方式是将所有出线倒换至II母线,母联、分段按无流考虑。模拟主变压器负荷分别为 $100\%S_n$ 、 $50\%S_n$ 、 $25\%S_n$ 和 $10\%S_n$ 的负荷水平(S_n 为主变压器额定容量,两主变压器额定容量

相等), 检查保护装置动作行为及差流水平, 每次测量时间不小于10 min, 并逐步调整差动定值为 $0.8I_d$ 、 $0.6I_d$ 、 $0.4I_d$ 和 $\min I_d$ 。观察保护起动情况。

根据以上试验方案, 对母线保护进行测试后, 所得试验结论如下。

1) 从多个差流零漂测试项目的检测结果可得: 在不施加任何激励量的情况下, 支路数量、基准电流比和CT电流比对差流零漂测量结果均有影响。其中, 支路数量对差流零漂测量结果影响较大, 基准电流比对差流零漂测量结果影响次之, 单支路CT电流比差异对差流零漂测量结果影响最小。

2) 从多个穿越性负荷测试项目的测试结果可得: 支路数量、负荷水平、基准电流比和支路CT电流比对差流测量结果均有影响。支路数量越多、差流越大; 负荷越重, 差流变大; 支路CT电流比与基准电流比比值越大, 差流也变大。

3) 穿越性负荷状态下会出现差流且保护会启动, 结合保护算法, 发现其原因是装置为克服零漂的影响, 软件对支路电流测量值中的最低三位(二进制)进行了归“0”处理。

4) 轻、重负荷穿越性电流及支路数量对差流测量结果的影响测试项目的测试结果表明, 当母线保护装置差动电流整定为一次值600 A时, 支路数量小于或等于8回时, 母线保护无误起动现象发生。

2.3 故障处理

上文的试验结论验证了母线保护各支路采样噪声累积是导致差流超过差动电流起动定值的原因这一推测。

该母线差动保护装置采用16位二进制数记录电流大小, 其中最高位为符号位, 40倍额定电流下对应二进制数的最大值。对于本次发生缺陷的220 kV母线差动保护而言, 其二次额定电流为5 A, 即200 A对应的二进制数为0111111111111111。该母线差动保护装置会对采样噪声进行处理, 将采集到的电流二进制数值的末3位清零。假设采样二次电流的二进制值为0000001111111111, 对应的电

流大概为6.244 087 04 A, 若对该电流进行采样噪声处理, 即二进制数的末3位清零, 则处理后的电流大概为6.201 361 13 A, 处理后与处理前的电流相差大概0.042 725 91 A, 再考虑到母线差动保护接入了24个间隔, 则最大可能出现的误差二次电流将达到1 A多, 远大于该母线差动保护实际起动电流判据0.6 A。

根据上述分析和试验结论对1#母线保护的软件算法进行了两方面的升级: 一是采样噪声抑制处理由之前的末3位(二进制)清零调整为末2位(二进制)清零; 二是将之前的所有支路任何情况下均进行采样噪声处理调整为只有当支路电流小于有流门槛($0.04I_n$)时才进行采样噪声处理。

对升级后的母线保护按照上文的试验方案进行了试验。试验结果表明, 升级后的母线保护在正常运行方式下的差动电流明显降低, 在基准电流比为2 500/5 A、差动起动定值为600 A(一次值)^[10]下未发生过保护异常起动现象, 达到了预期目的。

3 结束语

对某500 kV智能变电站的220 kV母线保护频繁起动的问题开展了研究, 通过一系列的试验, 验证了问题是由保护算法对采样噪声处理的缺陷引起的。

在母线保护支路接入数量较少的情况下, 本文所验证的问题在保护运行过程中不易体现, 因此, 可能还存在其他保护装置有此类问题。各保护厂家和电力运维机构应对此类问题引起足够的重视, 在基建或改扩建过程中应针对此类问题进行专项试验验证, 对不满足要求的保护装置应及时整改。

另外, 在分析问题的过程中, 通过装置故障分析、故障原因推断、试验方案制定、故障原因验证、装置软件升级和试验再验证6个步骤, 实现了闭环的问题原因查找分析, 并最终解决了问题, 所采用的试验方法对保护装置故障分析具有一定的参考价值。

参考文献

- [1] 刘奇, 林少华, 黄志元. 220 kV母线保护动作分析及事故处理[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 31(11): 135-138.
- LIU Qi, LIN Shaohua, HUANG Zhiyuan. Analysis of 220 kV bus protection operation and accident treatment[J]. Power System Protection and Control, 2010, 31(11): 135-138.
- [2] 舒逸石, 马勇, 于培杰. 浅谈母线差动保护微机化的几点感受[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(14): 116-121.
- SHU Yishi, MA Yong, YU Peijie. Discussion on microprocessor-based bus bar protection[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(14): 116-121.
- [3] 吕航, 王风光, 鲍凯鹏, 等. PCS-915母线保护装置[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(16): 118-123.
- LU Hang, WANG Fengguang, BAO Kaipeng, et al. PCS-915 series busbar protection devices[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(16): 118-123.
- [4] 王攀峰, 周晓龙, 杨恢宏. 一种面向数字化变电站的母线保护方案[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(12): 48-51.
- WANG Panfeng, ZHOU Xiaolong, YANG Huihong. A scheme of busbar protection in digital substation[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(12): 48-51.
- [5] 邹贵彬, 王晓刚, 高厚磊, 等. 新型数字化变电站分布式母线保护[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(11): 94-97.
- ZOU Guibin, WANG Xiaogang, GAO Houlei, et al. Distributed busbar protection of digital substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(11): 94-97.
- [6] 陈喜峰, 库永恒, 闫启祥. 某220 kV变电站220 kV母线差动保护动作事故分析[J]. 继电器, 2007, 35(5): 72-74.
- CHEN Xifeng, KU Yongheng, YAN Qixiang. Analysis of a maloperation accident in microcomputer-based 220 kV bus differential protection[J]. Power System Protection and Control, 2007, 35(5): 72-74.
- [7] 周小波, 汪思满, 吴正学, 等. 环网分布式母线保护装置就地化实现探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(6): 104-108.
- ZHOU Xiaobo, WANG Siman, WU Zhengxue, et al. Local placing implementation research of distributed HSR busbar protection[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(6): 104-108.
- [8] Q/GDW 1175—2013 变压器、高压并联电抗器和母线保护及辅助装置标准化设计规范[S].
- Q/GDW 1175—2013 Standardization design specification for power transformer, high voltage shunt reactor, bus bar protection and auxiliary equipments [S].
- [9] GB/T 14285—2006 继电保护及安全自动装置技术规程[S].
- GB/T 14285—2006 Technical code for relaying protection and security equipment [S].
- [10] DL/T 559—2007 220~750 kV电网继电保护装置运行整定规程[S].
- DL/T 559—2007 Setting guide for 220~750 kV power system protection equipment [S].

作者简介



周文越

周文越(1989—), 男, 工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护。

(收稿日期: 2018-06-12) **EA**