

一起风电场主变低压开关异常的保护动作分析

汪文东

(国华江苏风电有限公司,江苏盐城 224200)

摘要:针对一起风电场 220 kV 变电站主变低压开关触头发热导致短路故障,对开关故障发生原因,相关 35 kV 母差保护、主变保护、风机集电线路保护动作情况进行了全面分析,重点对主变低后备保护拒动原因进行了分析,对如何预防故障,合理保护配置,降低故障影响进行了阐述,且避免同类事故的发生。

关键词:风电场;变电站;主变;开关;保护配置

中图分类号: TM561

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2013)06-0015-04

2012年某月,某风电场 220 kV 变电站主变低压侧 301 开关由于绝缘击穿发生三相短路,35 kV 母差正确动作,主变低压侧开关拒动,主变低后备复压过流保护拒动,经高后备复压过流动作,方切除故障,造成主变低压侧开关柜后仓烧损,被迫更换。

1 故障经过

1.1 故障前运行方式

风电场主接线如图 1 所示。220 kV 母线、220 kV 出线运行,1 号、2 号主变(各 100 MW)运行,35 kV I 段母线、35 kV II 段母线、母联 310 开关运行,35 kV 13 条集电线路运行,所有风机运行,平均风速 6.6 m/s,功率 62 MW。

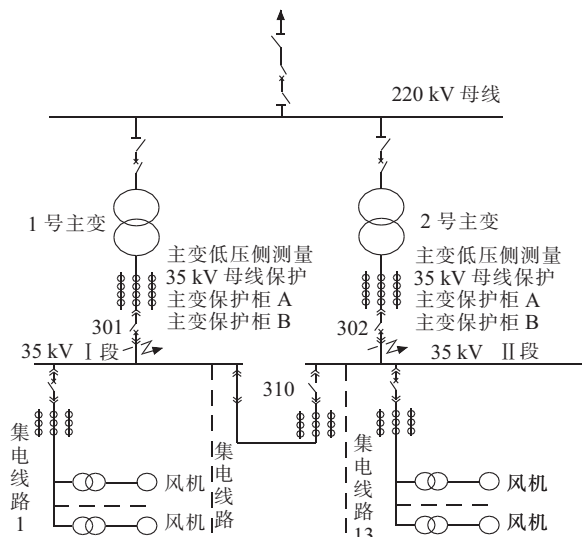


图 1 某风电场系统主接线图

1.2 故障发生现象

2012年某月,某风电场负荷 62 MW,综合自动化系统突然报警,综自监控画面显示 35 kV I 段母线所有集电线路开关、35 kV 母线联络 310 开关、1 号主变高压侧 2601 开关跳闸,220 kV 母线、220 kV 出线、2

号主变、35 kV II 段母线及集电线路显示运行正常,1 号主变低压侧 301 开关显示合位,运行人员迅速至继保室、35 kV 开关室、220 kV GIS、主变查看设备情况,发现综自画面显示正确,35 kV 母差、1 号主变后备保护动作出口,1 号主变低压侧 301 开关机械指示在合位,开关柜后仓烧损。

1.3 故障过程

(1) 将 1 号主变低压侧 301 开关摇至仓外,对开关柜体、手车进行详细检查,发现开关本体导电臂与母线连接动静触头已变形,发热痕迹明显,柜体内与母排连接静触头绝缘件已烧损。

(2) 调取故障录波波形进行综合分析,得出如下故障过程。35 kV I 段母线 301 开关本体导电臂与母线连接动静触头发热导致 B 相绝缘首先击穿,发生单相接地,另两相电压升高后发展成 BC 相接地短路,进一步发展为三相短路,母差保护跳闸出口,集电线路及母联可靠跳闸,但由于 301 开关拒动,导致故障影响范围扩大。

(3) 35 kV 母差动作,301 开关拒动后,主变低压侧后备保护拒动(分析由于保护整定设置问题),高压侧过流一段后备保护经 5126 ms 动作,跳开主变高压侧 2601 开关切除故障。1 号主变过流一段保护调度下发限额时间为 5.1 s,在一定程度上延长了电弧的存在,导致开关柜烧损。

(4) 2 号主变低压侧母线三相电压、2 号主变低压侧三相电流波形如图 2、图 3 所示。

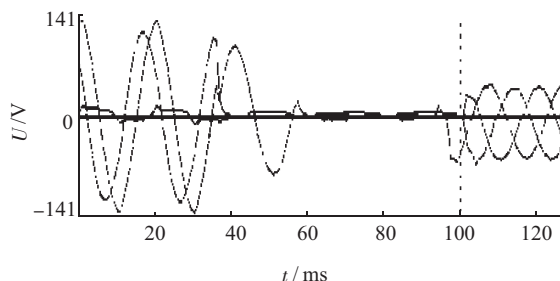


图 2 2号主变低压侧母线三相电压故障波形

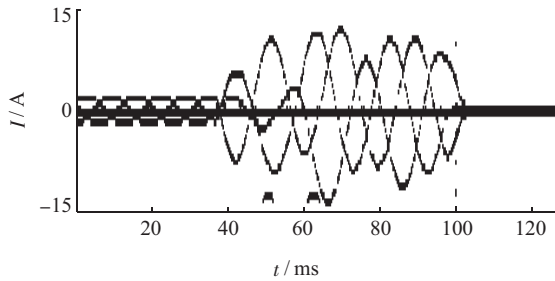


图3 2号主变低压侧三相电流故障波形

(5) 1号主变低压侧母线三相电压、1号主变低压侧三相电流波形如图4、图5所示。

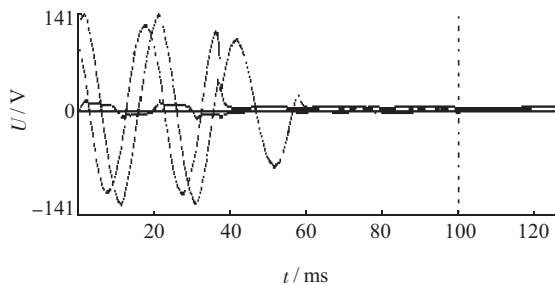


图4 1号主变低压侧母线三相电压故障波形

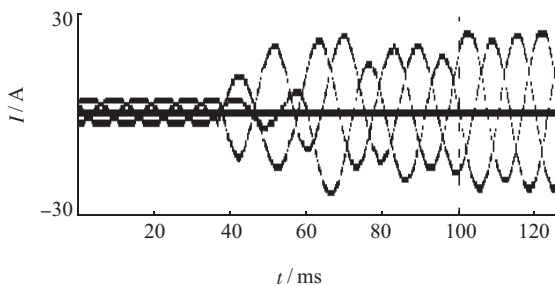


图5 1号主变低压侧三相电流故障波形

1.4 故障原因分析

经现场检查及保护动作分析,发现301开关手车与柜体母排连接动静触头有明显发热痕迹,确定此次事故的原因为1号主变301开关手车导电臂与柜体母排连接动静触头接触不良,导致发热,并最终导致绝缘击穿,发生短路。母差保护可靠动作后,母联及I段母线其他开关可靠分闸,301开关由于开关动静触头接触不良,引起过热并导致开关跳闸线圈动作特性发生变化,当发生故障,保护出口后开关不能可靠分闸,最终导致故障进一步加重。

2 相关保护分析及建议

由于该次故障点为1号主变低压侧开关,在低压侧开关的母线侧,属于低压侧母线设备,母差保护动作后,由于低压侧开关拒动,故障点不能切除,主变低后备保护由于保护定值设置问题拒动,导致开关故障经主变高后备常延时切除,最终烧损,这说明在保护设计,配置及整定上存在一定的问题。

2.1 35 kV 母差保护

故障发生后,35 kV母差正确动作,跳开一段母线母联及其他开关,事经检查保护出口跳301开关接点动作正常,回路正常,但301开关由于过热引起动作特性变化,导致拒动。

2.2 主变低后备保护

2.2.1 主变低后备保护配置整定

(1) 主变低后备保护配置。主变保护采用某厂微机型变压器保护,主变低后备配置主变低压侧复合电压闭锁方向过流保护,电压元件取主变低压侧电压,电流取自主变低压侧开关柜流变,该保护作为35 kV母线、35 kV出线保护的后备保护。

(2) 故障时保护定值整定。电流元件启动定值^[1]整定为可靠躲过最大运行负荷电流:

$$I_{j.dz} = \frac{1.5}{0.95} \times \frac{1650}{2000/5} = 6.51 \text{ A}$$

灵敏系数校验。作为35 kV母线、35 kV线路的后备保护,按照35 kV最长线路两相短路的条件校验,两相短路电流在系统最小阻抗为0.052 3 p.u.,主变阻抗为0.014 6 p.u.,35 kV I段母线35 kV集电线路最大线路阻抗为0.206 p.u.,最长线路末端两相短路时,1号主变低压侧两相短路电流为:

$$I_d = \frac{\sqrt{3}}{2} \times \frac{1}{0.052\ 3 + 0.146 + 0.206} \times \frac{100}{\sqrt{3} \times 35} = 3.53 \text{ kA}$$

灵敏度校验:

$$K_{sen} = \frac{I_d}{6.5 \times 2000/5} = \frac{3530}{6.5 \times 2000/5} = 1.35 > 1.2$$

动作时间即与35 kV线路过流保护动作时间配合,整定为1.5 s。

低电压定值,作为35 kV母线、35 kV线路的后备保护,当35 kV线路考虑(最长一条线路)末端发生三相短路时,其 U_n 为主变低压侧额定电压,主变低压侧电压为:

$$\frac{0.206}{0.052\ 3 + 0.146 + 0.206} U_n = 0.254 U_n$$

考虑一定的灵敏度整定 $U_{1set} = 0.4 U_n$ 。负序电压定值 U_{2set} 按照继电保护整定计算导则整定为8 V(线电压)。主变压器保护装置控制字投入整定情况:(1)低侧过流经低侧复压闭锁投入;(2)低侧过流经高侧复压闭锁退出;(3)低压侧电压互感器(TV)断线对本侧复压闭锁投入;(4)高侧复压闭锁低侧过流退出;(5)跳闸出口为跳主变低压侧开关。

2.2.2 根据录波波形对保护动作分析

(1) 电流元件,本次主变低压侧故障持续电流为8.2 kA,电流元件整定完全满足动作要求;

(2) 电压元件,本次故障持续三相电压近似为0,

整定满足条件;

(3) 方向元件,整定指向母线,满足要求;

(4) 低压侧 TV 断线判据元件,根据装置内部程序设定如单相电压 U_a, U_b, U_c 任一相小于 20 V,零序电压 $3U_0$ 大于 20 V 即判定单相或两相断线,通过上述录波图形分析,故障首先是发生 B 相接地,B 相电压接近于 0,后发展成三相短路,判定符合断线判定要求,按照逻辑闭锁本侧复压闭锁元件。

保护整定时防止 35 kV 母线 TV 断线造成失压,造成复压过流保护误动,故整定时设定 TV 断线时闭锁低后备保护。由于故障首先是 B 相接地后经 60 ms 发展成三相短路,根据程序内部设定单相电压 U_a, U_b, U_c 任一相小于 20 V,零序电压 $3U_0$ 大于 20 V 即判定单相或两相断线,满足 TV 断线判据的要求,低后备保护虽然电流条件满足,但电压条件由于低侧判断为 TV 断线,而高侧电压闭锁低侧电流判据功能又设置为退出,导致低后备保护拒动,属于保护整定设置不当。

在以上分析的基础上,后经现场实校保护装置,逻辑动作情况证明上述分析,并实际检查保护电流互感器(TA)回路接线,极性方向符合要求,母线侧为正极性,排除了电流方向元件设置错误的可能。

2.3 主变高后备保护

2.3.1 主变高后备保护配置整定

(1) 主变高后备保护配置。主变高后备配置主变高压侧复合电压闭锁过流保护,主变高后备保护是系主变本体、主变外部故障的后备保护,电流取自高压侧流变。

(2) 故障时保护定值整定。电流元件启动定值整定为可靠躲过最大运行负荷电流:

$$I_{j.dz} = \frac{1.5}{0.95} \times \frac{251}{600/5} = 3.3 \text{ A}$$

灵敏系数校验(按照主变低压侧 35 kV 母线两相短路的条件校验),主变低压侧 35 kV 母线两相短路电流为(考虑 35 kV 母联打开):

$$I_d = \frac{\sqrt{3}}{2} \times \frac{1}{0.0523+0.146} \times \frac{100}{\sqrt{3} \times 230} = 1.09 \text{ kA}$$

灵敏度:

$$K_{sen} = \frac{I_d}{3.3 \times 600/5} = \frac{1090}{3.3 \times 600/5} = 2.75 > 1.2$$

动作时间即按照调度限额 5.1 s。

低电压定值,作为主变外部故障的后备保护,当主变低压侧三相短路时,其 U_n 为主变高压侧额定电压,主变高压侧电压为:

$$\frac{0.146}{0.0523+0.146} U_n = 0.74 U_n$$

考虑一定的灵敏度整定为 $0.85 U_n$,负序电压定值按照继电保护整定计算导则整定为 8 V(线电压)。装置控

制字投入整定情况:① 高侧过流经高侧复压闭锁投入;② 高侧过流经低侧复压闭锁退出;③ 高压侧 TV 断线对本侧复压闭锁投入;④ 低侧复压闭锁高侧过流退出;⑤ 跳闸出口:跳主变高低压侧开关。

2.3.2 主变高后备保护动作分析

由于主变低后备保护电压判据不满足条件导致保护拒动,高后备电流、电压判据动作条件均满足,经 5.1 s 动作跳高低压侧开关切除故障。

2.4 建议

2.4.1 主变低后备保护

本次主变低侧后备保护^[2]拒动是由于保护 TV 断线闭锁复压设置不当造成。(1) TV 断线闭锁复压可以改为退出,缺点是当保护装置检测到电压不正常,可能会导致复压元件条件满足,保护可能误动;(2) 低侧后备保护 TV 断线闭锁复压选择投入,但是低侧后备保护经高侧复压闭锁须由退出改为投入,即使判断出本侧 TV 回路异常时,本侧复压元件不满足条件,但本侧复合电压过流保护可经高侧复合电压判据合理判断是否动作。

2.4.2 主变高后备保护

高后备复压过流保护调度限额为 5.1 s,是综合考虑系统故障时,风场主变不要提前切除,确保系统保护可靠动作,未考虑另增加设置方向过流保护,整定合理时间,保证主变本体或低压侧故障时能保证经合理时限切除,主变高压侧后备保护配置不合理,这也是本次故障损坏程度加重的原因之一。为保证主变本体或低压侧出线近距离故障时高后备保护^[2]经适当时间延时切除主变,结合本次保护动作情况建议做如下改进:

(1) 主变高压侧增加设置复压方向过流保护,方向指向主变,时间整定与低后备保护时间配合,设定 0.5 s 级差,整定为 2 s,跳闸出口跳主变高低压侧开关。

(2) 和调度部门沟通,优化调度下发主变复合电压过流保护时间限额。综合考虑风机低电压穿越功能^[3],如系统发生故障风机机端电压跌落超过 10%,风机最长提供故障电流时间为 2 s,如经 2 s 系统故障没有切除,风机机端电压不能自动恢复到 90%,风机将自动脱网停运,对系统而言风机则不能继续提供故障电流,原先限额 5.1 s 意义不大,为简化高后备保护设置,如经调度部门认可,在不影响系统保护动作的情况下,建议高后备保护时间整定缩短,不带方向,能保证达到同样保护效果。

2.5 主变差动保护

2.5.1 原设计分析

原变压器差动保护设计未将主变低侧开关上下静触头短路故障纳入主变差动保护范围,本次故障主变差动未启动,符合现场实际。结合本次故障分析按照原

设计需考虑优化以下问题:(1)如主变低侧开关下静触头短路故障,35 kV 母线差动保护正确动作,301 开关如能可靠动作,故障能瞬时切除,但本次是由于开关拒动,最终导致故障损坏进一步加剧。(2)如主变低侧开关上静触头由于发热导致短路故障,也在 35 kV 母线差动保护范围,35 kV 母线差动保护正确动作,即使 301 开关能正确动作,故障点也不能立即切除,存在保护死区,需主变后备保护经一定延时方能切除故障。

2.5.2 主变差动保护范围调整建议

结合 35 kV 开关触头发热导致短路事故的频发性,综合分析建议将主变低侧流变按图 6 所示调整。

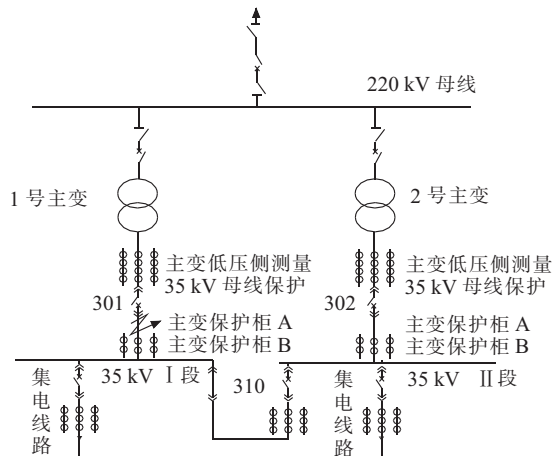


图 6 主变低侧流变调整图

经此完善,当发生类似本次开关静触头发热引起短路故障,对 301 开关上静触头与保护 TA 之间故障时存在的死区(对 35 kV 母差保护而言),主变低压侧 301 开关由于机构问题拒动等问题,均可通过变压器差动保护瞬时动作经主变高压侧开关切除故障。以上完善调整同样适用于风场 2 号主变保护。

2.6 风场其他保护动作

以上分析主要针对和本次故障直接相关的 35 kV 母差、1 号主变保护动作情况,风场变电站 220 kV 出线保护、220 kV 母差保护均反映正确,未误动,35 kV 风机集电线路过流保护均未能启动,35 kV I 段风机在集电线路开关经母差保护动作跳闸后均可靠停运,35 kV II 段风机在故障期间脱网,说明风机低电压穿越功能还需进一步完善。经计算集电线路故障电流未达到电流 I 段定值,故集电线路电流 I 段对 35 kV 母线故障不具备灵敏度,且电流 I 段设置方向,指向线路,故本次故障线路一段保护属于正常反应;故障电流达到电流保护 II 段动作值,但电流保护 II 段未启动,经核查由于电流保护 II 段设置方向性,方向指向线路,反方向故障保护未启动,属正常反应。

结合以上分析,需对集电线路^[4]保护进行改进,如取消电流保护 II 段方向性,电流 II 段对 35 kV 母线故障具备灵敏度,但应考虑当变压器高侧或系统发生故

障时应能够与变压器高侧后备保护具备配合性。主变高压侧三相短路时集电线路电流为:

$$I_{\text{set}} = \frac{1}{0.146+0.548} \times \frac{100}{\sqrt{3} \times 35} = 2.26 \text{ kA}$$

大于电流二段整定值,故电流二段如取消方向在主变高压侧发生短路故障时,二段保护会在高后备保护前动作,属于越级动作,为保证保护选择性,故需电流保护增加三段保护,按照如下方式整定,并取其大者。

(1) 线路额定负荷整定:

$$I_{\text{set}} = 1.5 \times 1.3 \times \frac{100}{\sqrt{3} \times 35} = 0.483 \text{ kA}$$

(2) 避开主变高压侧三相短路整定:

$$I_{\text{set}} = 1.05 \times \frac{1}{0.146+0.548} \times \frac{100}{\sqrt{3} \times 35} = 2.373 \text{ kA}$$

综合上述结果取其大者,二次电流 29.66 A。

(3) 时间 0.5 s,方向指向母线。

灵敏度校验按照 35 kV 母线两相短路进行校验,35 kV 母线两相短路电流为:

$$I = \frac{\sqrt{3}}{2} \times \frac{3000}{400/5} = 32.475 \text{ kA}$$

灵敏系数 $K = 32.475/29.66 = 1.1 > 1$,故定值取 29.66 A。

这样 35 kV 母线如发生故障,可以起到对母差保护后备的作用,即使主变高压侧或系统发生故障也能通过电流动作值整定保证选择性,确保集电线路保护不误动。另通过上述风机低电压穿越性能分析,当系统故障时风机低电压保护可以起到变压器高侧后备保护的远后备作用。

3 结束语

本次主变低压侧开关柜事故,是由于开关本体触头发热引起,故障如不能及时切除,极易引发烧损事故,一方面要积极做好继电保护定期检查完善,另一方面运行人员应加强巡查力度,尤其在大负荷过后,应加强开关触头检查,必要时可与厂家联系进行技改,在开关触头部位安装远红外探头进行在线测温,以便运行人员及时发现异常。

参考文献:

- [1] 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用 [M]. 2 版. 北京:中国电力出版社,2004:165.
- [2] 陈启卷. 电气设备及系统 [M]. 北京:中国电力出版社,2007:312.
- [3] 周双喜,鲁宗相. 风力发电与电力系统 [M]. 北京:中国电力出版社,2011:357.
- [4] 崔晓祥,高磊,刘孝刚. 一起风电线路跳闸故障的分析 [J]. 江苏电机工程,2012,31(1):12-13.

作者简介:

汪文东(1971),男,江苏盐城人,工程师,从事风电技术管理工作。

(下转第 22 页)

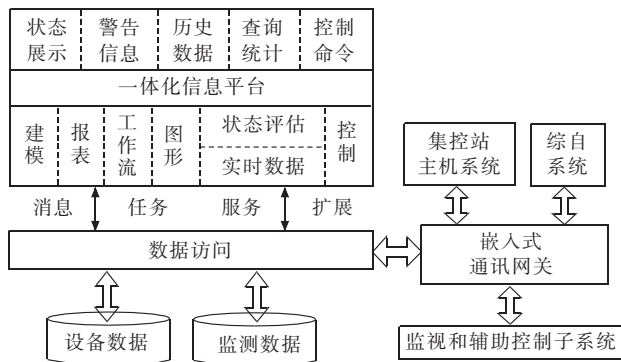


图 5 站端智能管控系统功能架构图

站端智能管控系统是一个兼顾实时监控和历史分析的综合系统。通常来说,实时监测数据在使用过程中对实时性要求比较高,而历史数据对数据存储容量要求较高。主机系统目前采用关系型数据库来完成各种数据的存储,并预留对实时数据库的扩展,为远期接入高实时数据提供接口。

6 结束语

本文结合 220 kV 西泾智能变电站介绍了物联网技术在状态监测与辅助控制系统中的应用。研究基于多传感器协同感知与信息融合技术,提高变电站辅助系统的信息可靠性;基于 IEC 61850 标准建立无线传感网络功能模块的模型,实现不同系统之间的信息交互;开发了多技术融合的集成智能辅助管控平台,完成

全站状态监测及辅助系统数据的集中展示和智能管控,取得了较好的运行效果。

参考文献:

- [1] 卢志俊,黄若函,周招洋. 物联网技术在智能电网中的应用[J]. 电力系统通信,2010,31(213):50-52.
- [2] 王 哲,孙纯军. 物联网技术在智能变电站中的应用[J]. 电力建设,2011,32(10):41-46.
- [3] 余贻鑫,栾文鹏. 智能电网述评[J]. 中国电机工程学报,2009,29(34):1-8.
- [4] 王保云. 物联网技术研究综述[J]. 电子测量与仪器学报,2009,23(12):1-7.
- [5] 鲁东海,孙纯军,秦 华. 基于物联网技术的智能变电站辅助控制与监测系统设计与应用[J]. 华东电力,2011,39(4):567-571.
- [6] 曹一家,何 杰,黄小庆,等. 物联网技术在输变电设备状态监测中的应用[J]. 电力科学与技术学报,2012,27(3):16-27.
- [7] 刘祥志,娄坚鑫,郑清风,等. 变电站视频监控系统行为识别功能设计与实现[J]. 电力系统自动化,2010,34(22):117-119.
- [8] 李 娜,陈 晰,吴 帆,等. 面向智能电网的物联网信息聚合技术[J]. 信息通信技术. 2010,4(2):21-28.
- [9] 陈积明,林瑞仲,孙优贤. 无线传感器网络的信息处理研究[J]. 仪器仪表学报,2006,27(9):1107-1111.
- [10] 龚钢军,孙 毅,蔡明明,等. 面向智能电网的物联网架构与应用方案研究[J]. 电力系统保护与控制,2011,39(20).

作者简介:

林 敏(1956),男,福建福州人,高级工程师,长期从事电力系统运行管理工作。

System and Application of the Internet of Things in Smart Substation Auxiliary

LIN Min

(Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024, China)

Abstract: The rapid development of the Internet Of Things(IOT) technology provides basis for auxiliary system optimization and smart substation information fusion. By taking the 220 kV XiJing smart substation an example, the acquisition and transmission system, one of IOT technologies, is introduced in this paper. Based on the analysis, an optimal arranging scheme of sensors using modified SOM algorithm is proposed. Since the data standard of auxiliary systems is not unified, a unified modeling method based on IEC 61850 standard is studied, and an IOT based auxiliary systems' management and control platform architecture scheme is proposed.

Key words: Internet of Things, Smart substation, Auxiliary systems

(上接第 18 页)

Analysis of Relay Protection Tripping Caused by a Fault on Low Voltage Switch of Main Transformer

WANG Wendong

(Guohua Jiangsu Wind Power Co., Ltd., Yancheng 224200, China)

Abstract: A short-circuit failure of the main transformer caused by overheat of its low voltage switch contact in a wind power plant's 220 kV substation is studied. The reason of the fault, the action of relative 35 kV differential busbar protection, the main transformer protection and the wind turbines protection are analyzed. Based on the analysis of the operation rejection of main transformer's low voltage level back-up protection, countermeasures and suggestions for preventing fault, deploying protections configuration and reducing fault effect are presented to avoid similar accidents.

Key words: wind power plant; transformer substation; main transformers; switch; protection configuration