

智能变电站光纤差动保护同步性能测试方法研究

张佳敏¹, 李鹏¹, 王建明², 卜强生¹, 宋亮亮¹, 仲伟宽²

(1. 江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103; 2. 无锡供电公司, 江苏 无锡 214061)

摘要:智能变电站线路光纤差动保护当一侧采用全光纤电流互感器,另一侧采用传统电磁式电流互感器时,为保证光差保护投运后的安全可靠,须对线路两侧的光纤差动保护装置同步性能进行测试,文中给出了一种集成测试环境下基于一次升流的线路差动保护同步性能的测试方法,基于此对不同厂家的线路差动保护进行同步性能测试,试验数据对比分析进一步表明了线路差动保护同步性能测试的重要性,保证了智能变电站投产的安全性。

关键词:数字式光纤差动保护;同步性能测试;光纤电流互感器

中图分类号:TM773

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2012)02-0030-03

随着智能变电站的逐步推广应用,新建和改扩建的变电站大部分采用了智能化的方案,智能变电站最大特点是采用了电子式互感器、智能开关、智能二次设备、光纤通信等新技术和新设备。在智能变电站逐步建设推广的过程中,对电力系统的运行维护提出了新的要求,一些新的问题也逐步出现,如智能变电站与传统变电站同时运行,线路光纤纵差保护会出现一侧采用电子式互感器,另一侧采用传统互感器的情况^[1]。两侧电气量的同步是保证纵差保护正确动作的关键,若两侧线路保护存在角差,线路保护差流会随着穿越电流的增大而增加,可能会导致保护不正确动作,测试过程中应对其同步性能进行测试把关,保证变电站投运的安全性^[2]。

智能变电站集成测试过程中,应对一侧数字式保护,一侧传统保护的线路光纤差动保护进行保护同步性能的测试^[3-6]。本文构建了线路两侧分别采用数字式差动保护和传统差动保护的试验平台,在同源一次电流下,测试两侧保护同步性能的方法。

1 两侧线路保护角差的产生原因

智能变电站电流互感器(TA)大都采用光纤电子式互感器,光纤互感器由光纤传感头、前置采集模块、合并单元组成,在结构上、原理上与传统的互感器截然不同。数据在前置采集模块和合并单元中传输及处理需要一定的时间延时,对于同一厂家的合并单元、前置模块,该时间延时通常是固定的^[7-9]。传统线路保护仅仅存在光纤通道的延时,因为两侧都是传统的TA,模拟滤波回路的延时影响较小,通过适当地处理就可以消除影响。智能化变电站中的光纤差动保护数据来自间隔合并单元,从真实的电流到保护装置收到数据报文,已经经历了传感头、电气单元、合并单元、直接采样的光纤,这些部件的

传输特性都对数据传输有一定的延时,总延时以合并单元数据中的Delay字段来表示;保护装置收到电流数据报文后,还要通过光纤电流通道与对侧保护采集到的传统TA电流进行同步,从同步方法上经历了插值同步、采样时刻调整法等多个算法环节,这些算法都有一定的误差,若没有通过算法将数字侧的通道延时和传统侧滤波回路的延时处理好,两侧保护中电气量就会存在一定的角差,会影响光纤差动保护的動作性能^[10,11]。

2 线路两侧差动保护同步性能测试方法

假设线路MN的M侧是采用光纤电流互感器的数字式线路保护,N侧是采用电磁式电流互感器的传统线路保护,两侧实际TA变比相同,均为 I_{e1}/I_{e2} ;设M侧数字式线路保护中设置的TA变比为 I_{M1}/I_{M2} ,N侧传统线路保护中设置的TA变比为 $I_{N1}/I_{N2}=I_{e1}/I_{e2}$,两侧线路保护的TA变比系数均为1.0,线路MN模型如图1所示。



图1 线路MN模型

不同厂家的线路保护数据传输方式不同,若两侧保护送给对侧的为二次电流值,假设线路MN中流过穿越性一次电流*i*,数字式线路保护侧感应到的本侧二次电流为 $\dot{I}_{MN} = \dot{i} \times (I_{M2}/I_{M1})$,对侧传统线路保护侧二次电流为 $\dot{I}_{MN} = \dot{i} \times (I_{N2}/I_{N1})$ 。实际运行时,若两侧TA变比相同,即 $I_{M1}/I_{M2} = I_{N1}/I_{N2}$,则线路两侧保护TA变比匹配,两套保护中本侧和对侧差流应为0。

实验室用的升流器安全一次电流一般能加到 1 000 A 左右,若选择与实际运行中的 TA 变比进行试验,保护装置中的二次电流较小,受噪声等外部干扰影响较大,零漂可能淹没二次电流的真实值,难以有效地进行两侧保护装置同步性能测试。因此,实验中选择升流器的变比,传统侧保护的变比与升流器相同,同时考虑到光纤互感器对穿过其光纤环的电流能够线性叠加,通过将升流器一次电流输出导线在光纤互感器的光纤环上绕 n 圈,能够模拟光纤电流互感器 $n \times 1\,000$ A 左右的一次电流,使数字式保护感受到的 $n \times 1\,000$ A 左右一次电流。该情形下,若两侧保护送给对侧的是二次电流,光纤电流互感器上承受的一次电流等效为升流器一次电流的 n 倍,数字式线路保护装置中显示的本侧二次电流为 $\dot{I}_{MN} = n\dot{I} \times (I_{M2}/I_{M1})$,而显示对侧二次电流为 $\dot{I}_{MN} = \dot{I} \times (I_2/I_1)$,两者二次电流由于一次电流不同而不同,会产生差流,无法验证两侧保护是否同步。该情况下,调整保护装置内的 TA 变比系数 $k = I_{MN}/I_{MM} = (I_2 \times I_{M1}) / (n \times I_1 \times I_{M2})$,消除由于一次电流不同产生的差流。

若两侧保护送给对侧的为一次电流,则数字侧线路保护显示的本侧二次电流为 $\dot{I}_{MN} = n\dot{I} \times (I_{M2}/I_{M1})$,而显示对侧二次电流为 $\dot{I}_{MN} = \dot{I} \times (I_2/I_1) \times (I_{N1}/I_{N2}) \times (I_{M2}/I_{M1})$,若保护装置能够设置 TA 变比系数,则 $k = I_{MN}/I_{MM} = (I_2 \times I_{N1}) / (n \times I_1 \times I_{N2})$,若保护装置无法设置 TA 变比系数,则需要设置对侧保护的 TA 变比 $I_{N1}/I_{N2} = n \times I_1 \times I_2$,以此来消除变比关系产生的误差。

3 同步性能测试平台构建

测试线路两侧数字式保护和传统保护之间的同步性能,需要构建同步测试平台,为了保证两侧线路保护一次电流的同源,采用升流器为两侧保护提供同源电流。升流器经过标互输出的二次电流供传统线路保护模拟量采集,一次电流流过光纤电流互感器的一次敏感环,通过光纤电流互感器前置单元和合并单元为数字式保护提供二次电流。试验平台如图 2 所示。

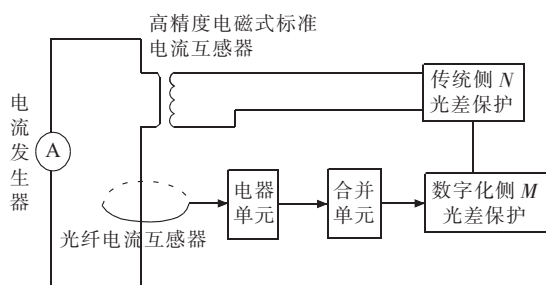


图 2 线路电流纵差保护同步性能测试平台

实验室用的升流器安全一次电流能加到 1 000 A 左右,为了模拟更大范围内的一次电流变化,将升流器一次电流输出导线在光纤互感器的光纤环上绕了 3 圈,即 $n=3$,以模拟测试一次电流从 100 A 到 3 000 A 变化过程中两侧保护装置的同步精度,升流器二次模拟电流接到传统侧保护电流端子,两侧保护装置 TA 变比预设 $I_{M1}/I_{M2} = I_{N1}/I_{N2} = 3\,000/5$,升流器变比 $I_1/I_2 = 1\,000/1$ 。

4 不同厂家同步试验对比分析

本次试验选用了 2 个厂家的线路保护装置,均为一侧数字化保护,另一侧传统保护,分别对 2 个厂家的线路保护装置测试其同步精度。一次电流选取 100~2 400 A,每 150 A 为间隔进行穿越性电流的差流测试。

厂家 A 两侧保护之间数据传输的是二次电流满码值,根据前文分析,设置数字化侧保护装置内 TA 变比 $I_{M1}/I_{M2} = 3\,000/5$,TA 变比系数 $k = I_{MN}/I_{MM} = (I_2 \times I_{M1}) / (n \times I_1 \times I_{M2}) = 0.2$,则数字式线路保护装置中显示的本侧电流变为 $\dot{I}_{MN} = n\dot{I} \times (I_{M2}/I_{M1}) = \dot{I}/200$ 。对侧传统保护 TA 变比 $I_{N1}/I_{N2} = 3\,000/5$,对侧电流为 $\dot{I}_{MN} = \dot{I} \times (I_2/I_1) / k = \dot{I}/200$ 。记录其在一次电流下的试验数据如表 1 所示。

表 1 厂家 A 线路保护差动试验数据 A

一次 电流	数字化侧保护电流			传统侧保护电流		
	I_M	I_N	差流	I_M	I_N	差流
150	0.25	0.2	0.05	0.04	0.05	0.02
300	0.48	0.48	0.05	0.08	0.09	0.02
450	0.71	0.68	0.05	0.14	0.14	0.02
600	0.99	1.01	0.06	0.19	0.2	0.03
750	1.23	1.22	0.08	0.23	0.23	0.03
900	1.48	1.5	0.08	0.31	0.29	0.03
1 050	1.71	1.7	0.08	0.34	0.34	0.02
1 200	1.94	1.91	0.08	0.39	0.39	0.03
1 350	2.22	2.21	0.06	0.42	0.43	0.02
1 500	2.45	2.44	0.08	0.48	0.49	0.03
1 650	2.7	2.71	0.06	0.54	0.54	0.03
1 800	2.96	3.06	0.06	0.6	0.6	0.03
1 950	3.23	3.26	0.08	0.64	0.65	0.02
2 100	3.53	3.53	0.06	0.7	0.71	0.02
2 250	3.78	3.75	0.08	0.74	0.76	0.02
2 400	4	4.01	0.08	0.8	0.82	0.02

由表 1 可知,一次电流从 150 A 变为 2 400 A 过程中,差流大小尽管有波动,但整体趋势比较稳定,说明两侧保护装置同步性能较高,采样值之间的角度差极小,可以满足保护运行要求。

厂家 B 两侧保护之间数据传输的是一次电流, 由于保护装置内没有 TA 变比系数设置功能, 若两侧采用同样的 TA 变比, 势必产生差流, 按照前文所述, 数字式保护侧 TA 变比 $I_{M1}/I_{M2}=2\ 500/5$; 传统侧保护 TA 变比设为 $I_{N1}/I_{N2}=n \times I_1/I_{N2}=3\ 000/1$ 。记录其在一次电流下的试验数据如表 2 所示。

表 2 厂家 B 线路差动保护试验数据 A

一次 电流	数字化侧保护电流			传统侧保护电流		
	I_M	I_N	差流	I_M	I_N	差流
200	0.4	0.406	0.027	0.068	0.067	0.003
300	0.485	0.484	0.036	0.08	0.081	0.005
600	1.337	1.336	0.062	0.221	0.226	0.009
900	1.803	1.81	0.076	0.301	0.302	0.013
1 200	2.435	2.442	0.103	0.406	0.408	0.011
1 500	3.012	3.026	0.127	0.502	0.504	0.013
1 800	3.597	3.611	0.123	0.597	0.602	0.012
2 100	4.368	4.388	0.189	0.729	0.732	0.011
2 400	5.025	5.04	0.201	0.837	0.841	0.024
2 700	5.567	5.588	0.228	0.928	0.931	0.013

由表 2 可以明显发现, 随着穿越电流的增加, 保护差流逐渐变大, 可以认为数字侧保护与传统侧保护采样同步性能不够好, 采样值之间存在一定的角差, 可以根据其差流大小估算出保护两侧的角差约为 3° 。实际运行过程中, 发生区外故障时, 穿越电流可能达到 30 kA, 若两侧角差在 3° 左右, 对应两侧保护时差约 $167\ \mu\text{s}$, 差流最大可达到 1 570 A。厂家 A 和厂家 B 线路保护两侧差流对比如图 3 所示。

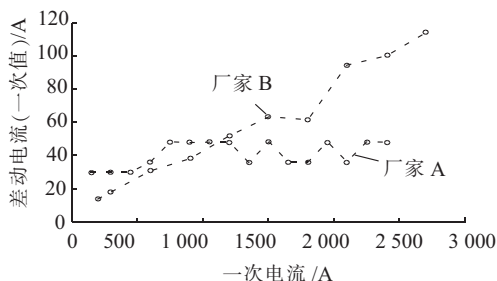


图 3 厂家 A 和厂家 B 线路保护两侧差流对比图

对比厂家 A 和厂家 B 的线路差动保护的差流随穿越电流变化的曲线。可以发现, 厂家 A 的线路差动保护可以较好地保证两侧采样值的同步性, 而厂家 B 的两侧线路保护采样值之间存在一定的角差, 导致保护差流随穿越电流的增加而增大, 发生区外故障时, 差流较大。

5 结束语

随着智能变电站建设的大力推进, 在一段时间内需要考虑智能站与传统站之间的保护配合, 两侧保护同步性能的测试对保证智能变电站可靠运行具有重要的意义。本文以某智能变电站集中集成测试

为背景, 给出了一种基于实验室条件测试数字式线路差动保护和传统线路差动保护同步性能的方法, 构建了测试平台, 对 2 个厂家的线路光差保护同步性能进行了测试。

参考文献:

- [1] 张兆云, 刘宏君, 张润超. 数字化变电站与传统变电站间光纤纵差保护研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(3): 58-60.
- [2] ZHANG Zhaoyun, LIU Hongjun, ZHANG Runchao. Research on Line Differential Protection Between Digitized Substation and Traditional Substation [J]. Power System Protection and Control 2010, 38(3): 58-60.
- [3] 高厚磊, 江世芳, 贺家李. 数字电流差动保护中几种采样同步方法[J]. 电力系统自动化, 1996, 20(9): 46-49, 53.
- [4] GAO Houlei, JIANG Shifang, HE Jiali. Sampling Synchronization Methods in Digital Current Differential Protection [J]. Automation of Electric Power Systems, 1996, 20(9): 46-49, 53.
- [5] 曹团结, 尹项根, 张 哲, 等. 通过插值实现光纤差动保护数据同步的研究[J]. 继电器, 2006, 34(18): 4-8.
- [6] 刘宏君, 孙一民, 李延新. 数字化变电站光纤纵差保护性能分析[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(17): 72-74.
- [7] LIU Hongjun, SUN Yimin, LI Yanxin. Performance Analysis and Research on Line Differential Protection in Digitized Substation [J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(17): 72-74.
- [8] 张兆云, 刘宏君. 数字化变电站光纤差动保护同步新方法[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(22): 91-92.
- [9] ZHANG Zhaoyun, LIU Hongjun. A New Synchronization Method of Optical Fiber Line Differential Protection for Digital Substation [J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 34(18): 4-8.
- [10] 潘济猛, 孙永先, 申狄秋, 等. 智能变电站光纤差动保护装置同步方案比较[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(9): 101-104.
- [11] PAN Jimeng, SUN Yongxian, SHEN Diqui, et al. Comparison of Fiber Current Differential Protection Synchronization Schemes for Smart Substation [J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(9): 101-104.

作者简介:

张佳敏(1986), 男, 江苏泰州人, 工程师, 研究方向为电力系统及其自动化;

李 鹏(1982), 男, 陕西西安人, 博士, 研究方向为电力系统及其自动化;

王建国(1965), 男, 江苏无锡人, 高级工程师, 研究方向为电力系统及其自动化;

卜强生(1983), 男, 江苏江阴人, 工程师, 研究方向为电力系统及其自动化;

宋亮亮(1985), 男, 江苏南通人, 工程师, 研究方向为电力系统及其自动化;

仲伟宽(1980), 男, 江苏无锡人, 工程师, 研究方向为电力系统及其自动化。

关,造成发电电动机机端引线定子接地故障。在对故障点进行紧急处理后,机组正常投入运行,避免了可能造成的发电电动机机端相间短路的严重故障。

5 经济效益

综合考虑设备费、辅材费(主要为增加的控制电缆)、安装调试费,每台机组保护国产化改造费用约20万元,低于抽水蓄能行业机组保护改造百万级别标准(据调研潘家口蓄能电厂和广州蓄能电厂机组保护改造费用都在百万元以上),在保障技术的前提下建立了机组保护改造费用的新标准。机组保护改造完成后,新保护装置生命周期内的备件费用和厂家服务费用为0,只需每年4万元的常规校验外包费用,克服了原有进口保护装置后期维护费用高(年均超过20万元)和售后服务不到位等缺点。

6 结束语

本次改造工程严格参照国内技术规程和反事故

措施要求,克服原有机组保护缺陷,实现了机组保护主后备一体化、双重配置的成套保护配置方案,成功应用了注入式定子、转子接地保护原理、变斜率比率差动原理、工频变化量差动原理、高灵敏横差保护等先进技术,极大地提高了机组保护性能。改造后二次回路简洁清晰,维护方便,现场应用安全可靠。

参考文献:

- [1] GB/T 14285—2006,继电保护和安全自动装置技术规程[S].
- [2] 沈全荣,何雪峰,沈俭,等.大型发变组微机保护双重化配置探讨[J].电力系统自动化,2002,26(10):69-72.
- [3] 严伟,陈俊,沈全荣.超超临界机组发电机变压器组保护探讨[J].江苏电机工程,2008,27(S1):61-63.
- [4] 王光,温永平,陈俊,等.注入方波电压式转子接地保护装置的研制及应用[J].江苏电机工程,2009,28(2):74-77.

作者简介:

龚翔峰(1976),男,江苏南通人,工程师,从事设备管理工作;
杨海学(1979),男,江苏南通人,工程师,从事继电保护工作;
司红建(1979),男,江苏南通人,工程师,从事安全技术管理工作。

The Domestic Reform of Pumped-Storage Power Station Unit Protection

GONG Xiang-feng, YANG Hai-xue, SI Hong-jian

(Jiangsu Shahe Pumped-storage Power Generation Co.Ltd., Liyang 213333,China)

Abstract: The unit protection devices of Shahe pumped storage power station were imported from the ALSTOM Company along with the main unit, which had some defects in design, protection, operation and other aspects according to the relevant domestic and industry standards. This paper analyzed the problems existing in the protection devices of Shahe station, and illustrated the successful domestic reform which had been improving the protection performance by applying some advanced technologies & principles.

Key words: double Protection configuration; variable slope ratio differential; injection type stator; rotor grounding protection

(上接第32页)

Study on Synchronization Test Method of Digital Optical Differential Protection in Smart Substation

ZHANG Jia-min¹, LI Peng¹, WANG Jian-ming², BU Qiang-sheng¹, SONG Liang-liang¹, ZHONG Wei-kuan²

(Jiangsu Electric Power Research Institute Co. Ltd., Nanjing 211103, China;

2. Wuxi Power Supply Company, Wuxi 214061, China)

Abstract: Line optical differential protection of smart substation using optical electric current transformer in one side and traditional electromagnetic TA in the other side. It is necessary to test the synchronization of asymmetric differential protections in order to ensure safety and reliability of the system after optical differential protection put into operation. An experimental method was proposed to test synchronization of the line differential protections based on rise flow under integration test environment. The synchronization test of different differential protections system was carried out by using this method. Comparative analysis of the results indicates that it is important and necessary to test the synchronization for digital line current differential protection.

Key words: digital optical differential protection; synchronization performance test; optical current transformer