

直流保护系统 CT 饱和引起直流工程桥差保护 误动分析及改进措施

刘敏, 张楠, 邹卓霖, 张培珍

(许继电气有限公司直流输电系统部, 河南 许昌 461000)

摘要: 针对直流工程中逆变侧换流变网侧单相瞬时金属性接地故障引起直流保护系统桥差保护误动现象, 分析了在此种故障情况下, 换流变压器 D 绕组零序分量造成直流保护系统 CT 饱和, 是造成直流桥差保护误动的原因。从两方面提出了解决误动问题的方法, 一是对直流保护系统 CT 进行改进, 旨在找到适合直流工程直流保护系统应用的 CT。二是在桥差保护软件中, 展宽交流低电压信号持续时间, 以躲过 CT 饱和产生的差流存在时间。通过数字仿真试验, 结果表明该方法切实、有效, 保证了直流保护系统保护动作的正确性。

关键词: CT 饱和; 直流保护系统; 数字仿真

Analysis of a unwanted trip of the bridge differential protection caused by CT saturation state and its improved ways

LIU Min, ZHANG Nan, ZOU Zhuo-lin, ZHANG Pei-zhen
(XJ DC Transmission Dept, Xuchang 461000, China)

Abstract: When there is single phase fault in the AC system at the inverter side, because zero sequence current in the converter transformer delta windings is existed, in HVDC project, the bridge differential protection initiates a unwanted trip. CT saturation is the main reason. To resolve the problem, first, it is to improve CT performance. Second, the time of low voltage is delayed in software programme. And the validity of these ways is assessed through RTDS (Real Time Digital Simulator).

Key words: CT saturation; DC protection system; RTDS

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2007)21-0010-04

0 引言

随着电力系统的不断发展与贯彻中央“西电东送”的发展战略, 我国陆续兴建一批超高压、大容量、远距离直流输电工程和交直流并联输电工程。许继集团作为我国在直流输电控制和保护领域做过实际工程的集团公司, 通过消化吸收引进技术, 对引进技术进行升级提高, 最终形成了具有国际先进水平和拥有自主知识产权的直流输电控制保护系统, 并形成设备的后续自主研发能力和工程的独立建设能力。在完成灵宝背靠背直流输电工程控制保护系统研制后, 又承担了贵广 II 回这一高压、大容量直流输电工程的控制与保护系统的研制任务, 在工程调试过程中, 通过对系统进行各种试验, 发现并解决了系统存在的一些问题, 为贵广 II 回直流输电系统正式投运后的安全可靠运行做好了充分准

备。直流控制保护系统位于控制层, 是直流输电的核心。直流输电保护系统的可靠性对保证直流输电系统的安全可靠运行尤为重要。在直流输电控制保护系统进行 DPT 试验时, 发现直流工程中逆变侧换流变网侧发生单相瞬时金属性接地故障时, 直流保护系统桥差保护经常误动, 设计人员对其误动原因进行了分析, 提出了解决方法。

1 直流保护系统桥差保护误动原因

1.1 问题提出

许继集团控制保护人员在贵广 II 回工程的直流输电控制保护系统进行 DPT 试验项目“逆变站网侧单相金属接地故障(故障时间 100 ms)”过程中, 在交流故障清除以后, 多次出现逆变侧 D 桥桥差保护动作使直流系统停运的情况。经过多次试验发现, 该保护的動作与故障发生时的合闸角有关。

在合闸角为 90°、60°、30° 和 0° 分别进行试验,发现合闸角为 90° 和 60° 时桥差保护不误动,30°

和 0° 时桥差保护误动。故障位置见图 1 中的故障点 1。

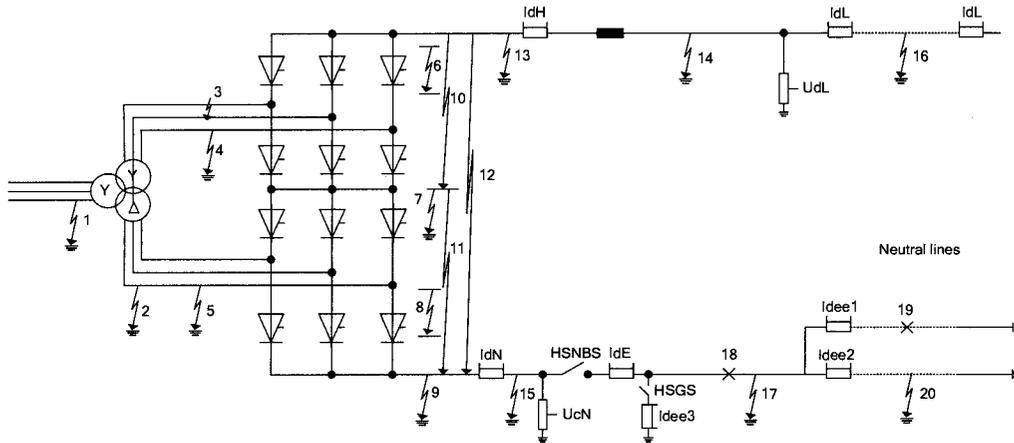


图 1 故障位置

Fig.1 Fault location

桥差保护的判据为: $I_{ac220} - I_{acY220} > \Delta$ (Y 桥) 或 $I_{ac220} - I_{acD220} > \Delta$ (D 桥), 通过对保护内部的录波图(图 2)分析,可以看到差值的存在,造成保护误动。

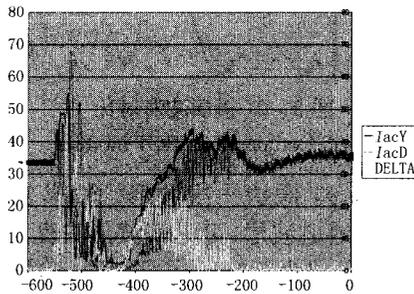


图 2 交流侧接地故障时保护录波图

Fig.2 Record of single phase fault in AC system

1.2 原因分析

保护用电流互感器要求在规定的一次电流范围内,二次电流的综合误差不超出规定值。对于有铁心的电流互感器,形成误差的最主要因素是铁心的非线性励磁特性及饱和。电流互感器饱和的原因有两种^[1]: 一是一次电流过大引起铁心磁通密度过大; 二是二次负载(即 Z_2) 过大,在同样的一次电流下,要求二次侧的感应电动势增大,也即要求铁心中的磁通密度增大,铁心因此而饱和。电流互感器的饱和可分为两类: 一类是大容量短路稳态对称电流引起的饱和(以下称为稳态饱和); 另一类是短路电流中含有非周期分量和铁心存在剩磁而引起的暂态饱和(以下称为暂态饱和)。这两类饱和的特性有很大不同,引起的误差也差别很大。当电流互感器通过的稳态对称短路电流产生的二次电动势超过一定值

时,互感器铁心将开始出现饱和。这种饱和情况下的二次电流如图 3 所示,其特点是: 畸变的二次电流呈脉冲形,正负半波大体对称,畸变开始时间小于 5 ms (1/4 周波),二次电流有效值将低于未饱和情况。对于反应电流值的保护,如过电流保护和阻抗保护等,饱和将使保护灵敏度降低。对于差动保护,差电流取决于两侧互感器饱和特性的差异。

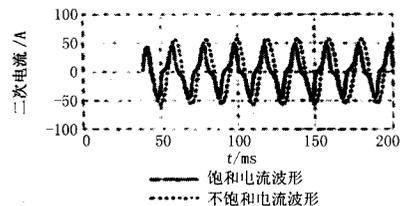


图 3 CT 稳态饱和和二次电流下的波形

Fig.3 Secondary current of CT stably saturation state

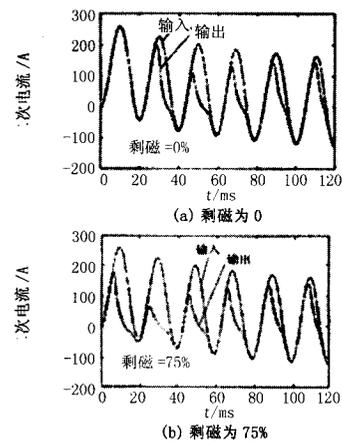


图 4 非周期分量互感器二次电流波形

Fig.4 Secondary current of CT transient saturation state

电流互感器的暂态饱和严重影响其传变特性,原因是电流互感器的励磁特性是按工频设计的,在传变等效频率很低的非周期分量时,铁心磁通(即励磁电流)需要大大增加。非周期分量导致互感器暂态饱和时二次电流波形是不对称的,开始饱和的时间较长,如图4。电流互感器由于短路电流引起暂态饱和形成剩磁,但铁心有剩磁时,将加重饱和程度和缩短开始饱和时间,剩磁越大,造成误差曲线偏移程度越大^[2]。系统的容量越大,产生暂态过程的时间常数越长,过渡过程直流分量造成铁芯直流偏磁效应越严重。理论推导证明剩磁现象的存在使铁芯的磁导率下降,电流互感器的剩磁严重影响其饱和特性,而且正常运行不易消磁。从而造成互感器的误差增大。

直流保护系统采集的一次电流是换流变压器的套管 CT 电流。在直流输电工程中,短路电流中含有非周期分量比较大,非周期分量的直流偏磁作用很容易使电流互感器铁心进入深度饱和状态^[3],这将使电流互感器的传变特性严重恶化。当网侧发生单相金属接地故障时,换流变压器 D 侧绕组内会产生很大的零序环流,该环流上叠加一定的衰减直流分量,此直流分量造成直流保护屏柜内 CT 产生直流偏磁,导致 CT 严重饱和,造成采样严重失真。CT 的严重饱和和经过一段时间才能恢复,所以在交流故障清除以后, D 桥桥差保护仍然出现误动作。图 5 为直流保护屏柜内 CT 饱和问题的测试波形。

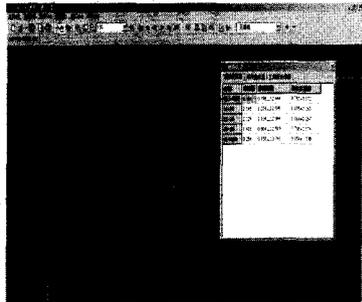


图 5 直流保护屏柜内 CT 的测试波形

Fig.5 Test of CT in DC protection cubicle

波形 1 为交流侧接地故障时, D 桥内电流的波形,通过故障回放的方式将该电流输入到西门子公司为贵广 II 回工程提供的 CT 模块,波形 2、3、4 是 CT 模块在 3 种不同输出档位设置下的试验结果,可见其波形失真非常严重。

2 消除保护误动措施

2.1 CT 的改进措施

西门子公司为贵广 II 回工程提供的 CT 模块既

用于测量回路,又用于保护回路,为了保证测量精度,牺牲了抗饱和能力。首先,根据工程需要把测量用 CT 和保护用 CT 分开,采取在保护级铁芯切口设置气隙的措施来减少剩磁影响。直流工程硬件平台模拟量采集回路与常规的交流保护模拟量采集回路有一些差异,负载阻抗较大,低定值时精度要求较高。对于同样的电流互感器参数,负载阻抗越大,其饱和电流的倍数就越小。为提高过载能力,铁心的截面积需增大。根据直流工程的特点,对 CT 生产厂家提出较高的要求。为保证精度、抗饱和能力、一致性,铁芯切口设置气隙的尺寸应小且一致性好,原边匝数的减少应在合理的范围内,适当增加铁心的截面积,提高 CT 过载能力。CT 生产厂家根据要求已提供了合适的 CT,通过对比试验见图 6,效果令人满意。

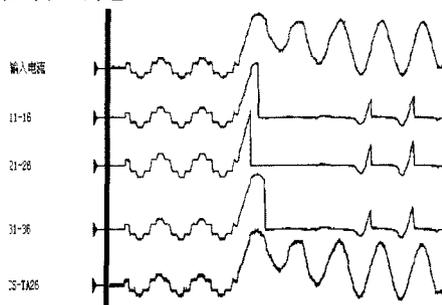


图 6 CT 模块波形对比

Fig.6 Comparison of CT module

波形 1 为 CT 原边一次波形,波形 2、3、4 是原 CT 模块 3 个通道波形,可见其波形失真非常严重。波形 5 为许继公司为高岭工程研制的 CT 模块的输出波形,可见 CT 饱和的问题得到有效地解决。

2.2 保护判据的优化设计

在当前普遍使用微机保护的条件下,保护采取防止互感器饱和导致误动的措施在很多情况下都是可行的。将交流低电压闭锁信号时间展宽、提高定值等,因此,这方面还有很大的改进潜力。

桥差保护的保护区为 6 脉动桥,它检测单个 6 脉动桥内阀的换相故障或点火故障以及换流器直流故障。保护测量换流变阀侧电流 I_{acY} 、 I_{acD} ,与 $I_{ac} = \text{MAX}[I_{acY}, I_{acD}]$ 进行比较。保护判据为: $I_{ac} - I_{acY} > \Delta$ (Y 桥) 或 $I_{ac} - I_{acD} > \Delta$ (D 桥),该保护动作时间 t_1 与交流故障清除的最长时间相配合。

注:如果本侧为逆变运行,当检测到来自极控系统本侧交流低电压信号时 ($U_{ac} < 0.7 \text{ pu}$),自动加长 t_2 的延时时间。 t_2 的长延时的选择应与交流故障清除的最长时间相配合。

保护逻辑框图(图 7 中所示的定值为出厂设定

值)。

通过修改软件的方法解决,将交流低电压信号展宽时间由原来的 400 ms 改为 500 ms,桥差保护定值由原来的 7%改为 8%,当发生逆变电站侧单相金属接地故障(故障时间 100 ms),发现只有一套保护误动,但系统没有闭锁。将交流低电压信号展宽时间由原来的 400 ms 改为 600 ms,桥差保护定值由原来的 7%改为 8%,重做上述实验,发现只有一套保护误动,但系统没有闭锁。将交流低电压信号展宽时间由原来的 400 ms 改为 500 ms,桥差保护定值由原来的 7%改为 9%,重做上述实验,发现只有一套保护误动,但系统没有闭锁。将交流低电压信号展宽时间由原来的 400 ms 改为 600 ms,桥差保护定值由原来的 7%改为 9%,重做上述实验,保护没有误动。将交流低电压信号展宽时间由原来的 400 ms 改为 800 ms,桥差保护定值保持原来的 7%不变,重做上述实验,保护没有误动。根据实验结果,专家讨论决定为将交流低电压信号展宽时间由原来的 400 ms 改为 500 ms,桥差保护定值由原来的 7%改为 8%。

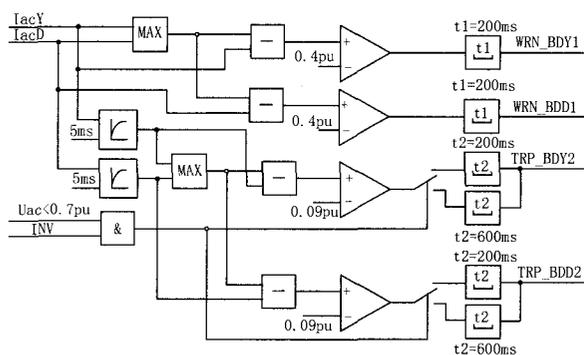


图 7 桥差保护原理框图

Fig.7 Bridge differential protection principle

网侧发生单相金属接地故障导致 D 桥桥差保护误动作问题可以采用修改相关保护定值以及更换直流保护屏柜内 CT 模块两种方法解决。

3 仿真试验验证

由于换流阀价格昂贵,目前在国内还没有建立其动模模型,直流输电系统数字仿真技术是研究直流输电系统各种运行特性的基本手段之一,有很多突出的特点。数字仿真充分利用了计算机快速和准确的运算能力,能够对电力系统的数学模型进行各种运行情况的分析研究,它能够方便灵活地改变系统的各种参数和运行方式,同时能够在短时间内进行各种不同方案和各种措施与效果的大量计算。

RTDS 全称为“Real Time Digital Simulator”,即实时数字仿真器,是加拿大 RTDS 公司为电力工业设计生产的一套基于先进的计算机并行处理技术的实时数字仿真系统。RTDS 构建了一个功能强大的并行处理计算机系统,并且实现了任务的动态分配,这使得 RTDS 能够以 50~100 μ s 的时间步长对电力系统进行仿真,并且在同样的步长时间内计算出仿真结果。直流保护系统软件修改相关保护定值,将交流低电压信号展宽时间由原来的 400 ms 改为 500 ms,桥差保护定值由原来的 7%改为 8%。通过 RTDS 模拟逆变侧换流变网侧 A 相金属性接地故障,桥差保护没有动作,重复多次,没有误动现象发生。通过试验,网侧发生单相金属接地故障导致 D 桥桥差保护误动作问题可以采用修改相关保护定值方法解决,目前贵广二回直流控制保护系统中采用的是修改相关保护定值的解决方案。更换直流保护系统 CT 的方法将在高岭工程中进行进一步的验证。

4 结论

通过以上分析可知,换流变压器 D 绕组零序分量造成直流保护系统 CT 饱和,是造成直流桥差保护误动的原因,直流保护系统采用抗偏磁特性较好的 CT 是保护正确动作的首要条件。提出了解决问题的方法,一是对直流保护系统 CT 进行改进,旨在找到适合直流工程直流保护系统应用的 CT。二是在桥差保护软件中,展宽交流低电压信号持续时间,以躲过 CT 饱和产生的差流存在时间。通过对比试验,解决问题的方法是正确有效的,有效保证了直流保护系统保护动作的正确性及直流系统的稳定运行。

参考文献

- [1] 袁季修,盛和乐,吴聚业. 保护用电流互感器应用指南[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [2] 王晓琪,姚敏,等. 剩磁对电流互感器准确级的影响[J]. 变压器, 1996, 12(6):5-9.
- [3] 王德芳,叶妙元. 磁测量[M]. 北京: 机械工业出版社, 1990.

收稿日期: 2007-08-22;

修回日期: 2007-09-05

作者简介:

刘敏(1968-),女,高级工程师,从事高压直流输电控制保护开发及应用工作; E-mail:minl@xjgc.com

张楠(1978-),男,助理工程师,从事高压直流输电控制保护开发及应用工作;

邹卓霖(1983-),女,助理工程师,从事高压直流输电控制保护开发及应用工作。