

DOI:10.12158/j.2096-3203.2021.03.026

换流变压器阀侧接地故障分析及保护优化

张晓宇^{1,2}, 郑超^{1,2}, 莫品豪^{1,2}, 顾乔根^{1,2}, 张春合^{1,2}

(1. 南京南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211102;

2. 南瑞集团(国网电力科学研究院)有限公司, 江苏 南京 211106)

摘要:换流变是高压直流输电系统的重要组成部分。换流变阀侧自身无接地点,但直流侧有接地点,当换流变阀侧区内发生单点接地故障时,随着换流阀的导通和关断,故障电流呈现不规则的变化,换流变自身现有保护可能灵敏度偏低。极端情况下,当Y/Y接线变压器阀侧中性点发生接地故障时,换流变自身主保护无法快速动作。文中从换流变的结构及运行工况出发,定性概括了阀侧接地故障后的电流特征;分析了现有保护系统的特性;提出了基于零序差动和快速零序过流原理的换流变阀侧保护优化方案;并结合现场故障录波及实时数字仿真系统仿真波形对其进行了验证。验证结果表明,优化后判据可以有效提高换流变保护在阀侧区内单点接地故障下的灵敏度、动作速度及故障定位准确度。

关键词:换流变压器保护;阀侧接地故障;零序差动;快速零序过流;峰值判别

中图分类号:TM721.1

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2021)03-0172-07

0 引言

高压直流输电(high voltage direct current transmission, HVDC)系统电压等级高,送电容量大,送电距离远,线路故障恢复能力强,调节速度快,有利于交流系统的稳定,可实现电力系统间的非同步联网,因此得到了越来越广泛的应用^[1-4]。随着大批高压直流输电工程的投运,直流运行的稳定性对电网安全稳定控制的影响日益显著^[5]。

作为HVDC系统中最主要的设备之一,换流变压器是接在交流系统与换流桥之间的电力变压器,提供相位差为 30° 的12脉动交流电压。换流变设备能否安全运行直接影响整个直流输电系统运行的可靠性。换流变阀侧发生单点接地故障时,故障特征同普通的接地系统有很大不同。目前针对换流变阀侧故障以及换流变压器差动保护特性已有相关研究。文献[6-9]主要介绍直流输电的基本知识和发展概况;文献[10-13]通过现场故障以及仿真分析等对不同工况下阀侧故障的特征进行了分析,指出由于换流阀具有单向导通性,阀侧套管电流和直流中性端套管电流均呈周期性变化,阀侧接地故障应分为6种不同情况进行分析,故障电流中有较大的谐波含量;文献[14-18]主要探讨了涌流对换流变保护的影响,指出故障性涌流,并联变压器的合应涌流,恢复性涌流均可能导致换流变保

护的不正确动作以及直流的换相失败,并提出了相应的解决方案;文献[19-20]重点研究区内故障时的谐波对换流变保护的影响,指出阀侧故障差流小,且整流侧和逆变侧故障特征不同,逆变侧故障后的谐波可能导致保护拒动;文献[21]指出直流换相失败可能导致换流变饱和,此时零序保护可以对主保护起到很好的补充作用;文献[22]探讨了换相失败后的直流电流可能导致电流互感器(current transformer, CT)饱和,进而引起换流变出现拒动的可能;文献[23]通过仿真阐述了故障下各保护的一些配合关系,指出部分换流变故障需要靠换流器差动配合切除。目前针对换流变阀侧单点接地故障下换流变不同类型保护的灵敏度分析对比,特别是Y/Y接线变压器阀侧中性点发生故障后保护的動作特性的研究较少。

文中概括总结了阀侧接地故障的波形特征及影响因素,归纳了现有保护配置及其对阀侧故障的响应特性,进而提出了基于零序差动和快速零序过流原理的换流变阀侧保护,并通过现场波形及实时数字仿真系统(real-time digital simulator, RTDS)仿真结果进行分析验证。文中方案可提高保护系统的整体可靠性,有利于现场故障的准确定位。

1 阀侧故障特征及保护现状

1.1 换流变阀侧故障特征

换流变压器直接连接换流阀,交流系统经过换流变和换流阀转换后同直流系统相连,其系统接线方式同普通变压器有很大的不同。对于网侧故障

收稿日期:2020-11-13;修回日期:2020-12-21

基金项目:国家重点研发计划资助项目“大型交直流混联电网运行控制和保护”(2016YFB0900600)

或者阀侧两相、三相故障,故障电流大,现有保护灵敏度高,无需特殊分析研究。对于阀侧单点接地故障(指换流变阀侧 CT 首端到中性点之间的部分,包括换流变阀侧绕组及其引出线、中性点等部分的故障),故障特征同常规交流系统差异较大,故障电流具体呈现以下特征:

(1) 故障特征弱。换流变阀侧自身无接地点,但直流侧有接地点。阀侧发生单点接地故障时,故障点同直流侧接地点形成回路。由于直流侧接地点通常离换流站有一定距离,且换流变短路阻抗一般较大,将导致阀侧单点接地故障电流相对较小。整流侧和逆变侧短路后特征不同,通常逆变侧故障电流会更小。

(2) 故障电流谐波含量高。换流阀及直流系统不能简单等效为交流系统中的电源或负荷,换流阀是周期性导通和关断的,且阀具有单向导通特性,当阀侧发生换流变区内单相接地故障后,不同阀导通时换流变阀侧 CT(包括首端 CT 和尾端 CT)感受到的故障电流不同,因此故障电流不对称,其中包含有大量谐波分量。如图 1 所示,当系统在 F_1 处发生故障时,不同时刻的电流流向不同。如红色阀导通时,电流沿红色箭头方向流动,此时故障相首端 CT 有电流流出;蓝色阀导通时,故障相首端 CT 有电流流入;绿色阀导通时,故障相首端 CT 电流为 0。

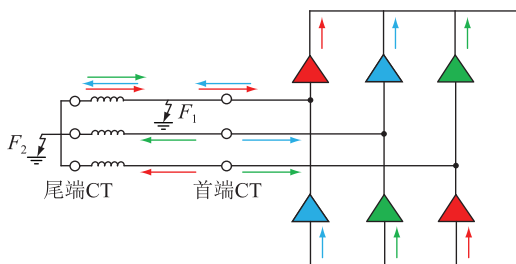


图 1 阀侧接地故障示意

Fig.1 Schematic diagram of grounded fault in valve side

(3) 故障电流持续变化。阀解锁后,一旦换流变区内发生故障,系统电压和直流侧电流都会跟随变化,对直流系统会产生一定影响,直流控保的动作行为会进一步影响故障波形特征,故障电流呈现持续变化的特征。

(4) 故障电流中存在零序电流。由于存在接地点,因此换流变阀侧首端自产零序电流始终存在且等于流入故障点的电流。

(5) 特殊故障无差流。对于 Y/Y 换流变中性点发生接地的特殊故障(图 1 中的 F_2 处),各相首端 CT 和尾端 CT 电流大小一致,无差流,故障电流只流过对应导通的单相绕组。此种情况当前换流变

保护设计分析中未见考虑。

1.2 现有保护配置及区域划分

换流变阀侧故障位于换流变保护区域,同时直流保护中的换流器保护,极保护等虽然保护的主要对象不是换流变压器,但也可以反应部分换流变区内故障,可以对换流变保护进行有效补充,共同构成完整的保护体系。图 2 为直流输电系统的结构示意图和保护区域划分,可以看出,换流变保护保护区域为换流变网侧到阀侧,换流器保护的极保护区域为换流器本体,极保护则以极为保护对象。

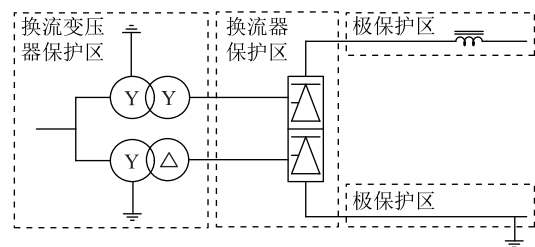


图 2 阀侧相关保护区域

Fig.2 Protection zone of valve side

1.3 现有保护的特性及不足

不同直流工程保护配置有所不同,以特高压直流输电系统的保护配置为例进行分析说明。目前各保护区域中,部分保护可以反应阀侧接地故障,部分保护则不能,表 1 为主要相关保护的极保护的动作特性。

表 1 换流变阀侧相关保护配置及性能

Table 1 Protection configuration and performance of converter valve side

所属保护装置	保护元件	反应阀区内接地	反应 Y 接中性点接地	特殊说明
换流变保护	大差/小差	否	否	灵敏度低,涌流判据通常不满足
	阀侧绕组差动	是	否	灵敏度低,范围不涵盖中性点
	网侧过流	否	是	速度慢
	网侧零流	否	是	速度慢
换流器保护	换流器差动	是	是	
	换相失败	是	是	仅逆变侧,速度慢
	阀短路保护	否	否	
极保护	阀侧过流	是	是	速度慢
	阀侧零序过压	是	否	反应阀未解锁时的故障
极保护	极差动	是	是	

由表 1 可以看出,不同类型故障下,可以有效动作的保护各不相同。

(1) 阀未解锁时发生接地故障。此时直流侧的接地点同换流变隔离,系统无零序回路,因此基本

无故障电流,相当于普通的不接地的交流系统。使用阀侧的零序过压保护可以很好地反应此类故障,该保护动作后会禁止阀解锁,防止故障进一步扩大。

(2) 解锁后换流变阀侧区内接地故障。此时故障点在换流变阀侧首端 CT 和末端 CT 之间,故障点处存在故障电流,换流变阀侧首末两端 CT 测量值不同,同时网侧电流和阀侧电流也不再成比例变化。因此换流变大差,小差,以及绕组差动保护均会产生差流。但按前文分析可知,此时差流中的谐波含量可能偏高,造成经励磁涌流判据的大差和小差差动被闭锁,无法动作。绕组差未经涌流判据,但在差流较小的情况下仍存在灵敏度不足的问题。换流器保护中的换流器差动和极保护中的极差动使用直流侧的电流作差动,当差流达到定值时,保护可以快速动作,但动作元件不在换流变保护内,因此动作后故障定位较为困难,不宜查找故障点。此外阀侧过流保护也可能满足动作条件,但动作速度较慢,换流变网侧的过流和零流保护则无法反应此类故障。

(3) Y/Y 换流变阀侧中性点故障。此类故障比较特殊,故障点位于换流变保护范围内,但对于变压器的各种差动均为穿越性故障,理想情况下差流为 0,因此换流变自身的差动保护无法反应此类故障。但从另一角度,正因为换流变的磁平衡没有被打破,会有较大电流流过换流变绕组,此时网侧也能感受到同比例的电流及零序电流,网侧的过流和零流可以动作,但时间通常较慢。同样,换流器差动和极差动也可以反应此类故障,但不利于故障排查和定位。

从以上分析可以看出,目前对于阀侧单点接地故障,换流变自身缺少较为灵敏的快速保护,很多情况下要依赖于阀保护和极保护,不利于故障快速切除及事故分析。

2 保护优化方案

对于上述问题,可对换流变自身的保护配置和算法进行优化。

2.1 配置优化

文中提供了快速零序保护和零序差动保护 2 种配置优化措施,具体保护配置见图 3。

2.1.1 快速零序保护

由于方案针对的是阀侧接地故障,当阀解锁后,必然有故障电流,而故障电流在换流变保护中则体现为阀侧的零序电流。换流变自身不接地,在无内部故障的情况下,理论上阀侧的首端和尾端均

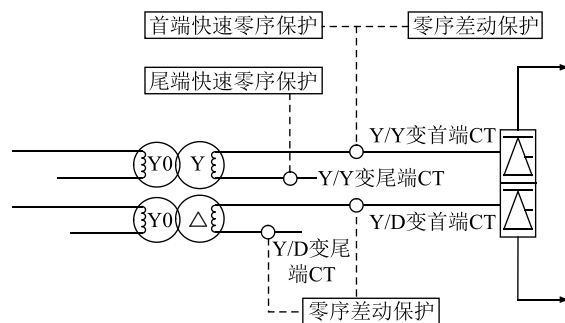


图 3 保护优化配置

Fig.3 Optimized protection configuration

无零序电流,因此可以配置较为快速的零序过流反应此类接地故障。

零序过流保护可使用 Y/Y 换流变的阀侧首端 CT 和尾端 CT。当首端零流保护动作时,表示阀侧内部存在接地故障,当尾端零流保护动作时,表示中性点处存在接地故障。

对于 Y/D 换流变,不能直接增加零序保护。因为在网侧发生故障时,Y/D 换流变存在零序回路,其三角环内可能产生较大的零序电流,简单地配置零序过流保护会导致区外故障的误动作。但现场条件允许的情况下(需考虑造价,安装空间及保护设备模拟量接入能力),可在三角环外加装 CT,用此加装的 CT 做零序过流保护。

零流保护可配置 2 段,1 段无延时快速出口,用于切除严重故障,整定时需躲过系统区外故障产生的最大零序电流(包括 CT 特性不一致产生的零序电流),可考虑取 $0.5I_e \sim 1I_e$ (I_e 为阀侧额定电流)。2 段可增加 20~80 ms 延时,作为快速保护的后备保护,定值可适当降低,可考虑整定为 $0.1I_e \sim 0.2I_e$ 。

2.1.2 零序差动保护

除了使用零序过流外,还可以用换流变阀侧首端 CT 和尾端 CT 构成零序差动。零序差动的优势是制动电流小,灵敏度高。

对于 Y/Y 接线变压器,可采用尾端零序电流作为制动电流,除非中性点处发生故障,否则正常运行及各种区内外故障过程中,理想情况下制动电流均为 0,因此有很高的灵敏度。

对于 Y/D 接线变压器,可考虑使用首端零序电流和尾端零序电流中较小的一方作为制动电流。对于区外故障,三角环内流过纯零序穿越电流,可以提供足够的制动量;对于区内故障,使用较小的零序电流作制动可以提高灵敏度。

和零序过流相比,零序差动的优势是可以通过差动计算和制动特性弱化 CT 传变特性不一致产生的零序电流对保护的影响,可靠性相对较高,同时

Y/D 侧也具备配置零序差动的条件。和普通绕组差动保护相比,使用零序电流作制动电流相对较小,灵敏度高。定值可考虑取 $0.2I_e \sim 0.3I_e$ 。

但零序差动不能反应 Y/Y 换流变中性点附近的故障,使用上有一定局限性。

2.2 算法优化

阀侧发生接地故障后,故障电流随着阀的导通和关断不断变化,并不是标准的正弦波。因此,为进一步提高保护的灵敏度,在零序电流的算法上也可以做部分优化。

(1) 使用零序电流的峰值进行判别。峰值算法在电流中有较大直流分量的情况下有较高的灵敏度。采用此算法时定值可同普通傅氏算法取相同数值。

(2) 零序电流满足条件后进行内部展宽。故障电流可能时大时小,保护在动作后达到延时前可能返回,因此可在动作后对动作标志进行展宽,展宽长度可取 1~1.5 周波,保证带延时的保护持续动作。此时需通过定值可靠躲过最大异常零序电流。

此外,现有阀保护和极保护也可以切除故障,新增判据根据情况可选择仅作用于信号,用于故障的快速定位。

3 仿真及现场波形验证

文中结合现场实际波形及 RTDS 仿真波形对理论分析和保护优化判据进行了验证。

3.1 Y/Y 接换流变阀侧中性点故障波形及分析

图 4—图 9 为现场真实故障的波形。故障点在整流站 Y/Y 接线变压器阀侧中性点处。故障发生时直流功率 $370 \text{ MV} \cdot \text{A}$, 阀侧 CT 变比 $3\,000 \text{ A}/1 \text{ A}$, 波形中电流为二次值。

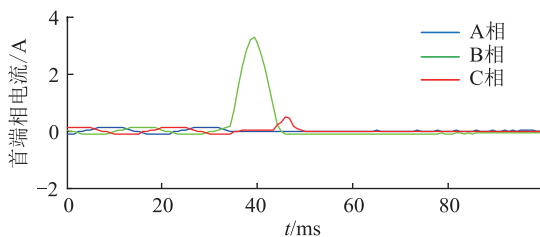


图 4 Y/Y 换流变阀侧首端相电流波形

Fig.4 Phases current waveformat at the head of Y/Y-converter transformer valve side

从图中波形可以看出,故障时刻刚好 B 相阀导通,因此 B 相出现较大电流,之后 B 相关断,C 相导通。换流变首尾两端电流大小基本一致,无差流。但首端和尾端均有较大的零序电流,峰值达到了 $10\,000 \text{ A}$,有效值超过 $3\,300 \text{ A}$ 。当时现场绕组无差

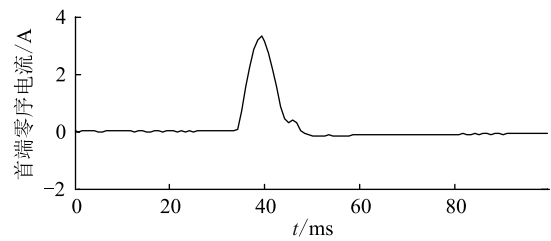


图 5 Y/Y 换流变阀侧首端零序电流波形

Fig.5 Zero sequence current waveformat at the head of Y/Y-converter transformer valve side

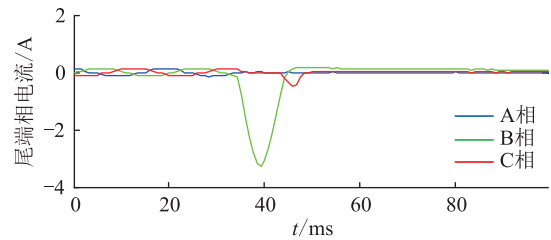


图 6 Y/Y 换流变阀侧尾端相电流波形

Fig.6 Phases current waveform at the tail of Y/Y-converter transformer valve side

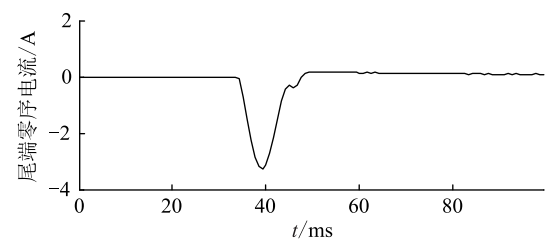


图 7 Y/Y 换流变阀侧尾端零序电流波形

Fig.7 Zero sequence current waveformat at the tail of Y/Y-converter transformer valve side

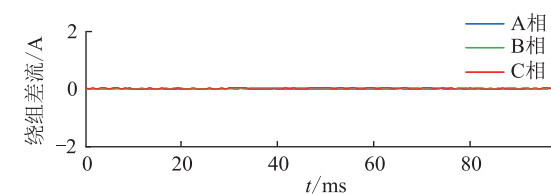


图 8 Y/Y 换流变阀侧绕组差流波形

Fig.8 Different current waveformat of Y/Y-converter transformer valve side

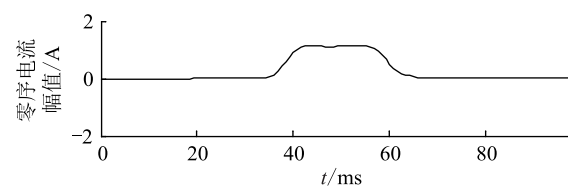


图 9 Y/Y 换流变阀侧尾端零序电流幅值

Fig.9 Amplitude of zero-sequence current at the tail of Y/Y-converter transformer valve side

流(如图 8 所示),换流变保护未动作。如采用尾端零序快速过流,当定值取 $1I_e$ (约 $1\,400 \text{ A}$)时,保护可

在 10 ms 内快速可靠动作,并提示故障点在换流变阀侧中性点处。

3.2 阀侧区内接地故障波形及分析

图 10—图 13 为使用实际特高压直流输电系统参数搭建的 RTDS 仿真模型,模拟整流侧高端 Y/Y 换流变阀侧 A 相区内接地故障。故障发生时直流功率 0.1 p.u.,波形中电流为一次值。

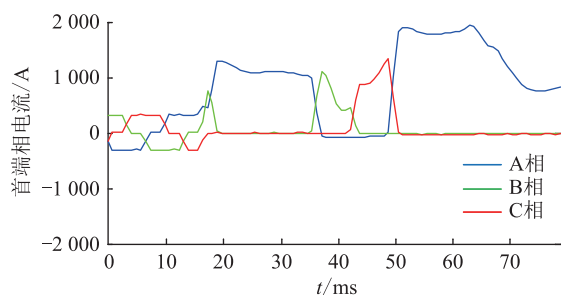


图 10 Y/Y 换流变阀侧首端电流波形

Fig.10 Current waveform at the head of Y/Y-converter transformer valve side

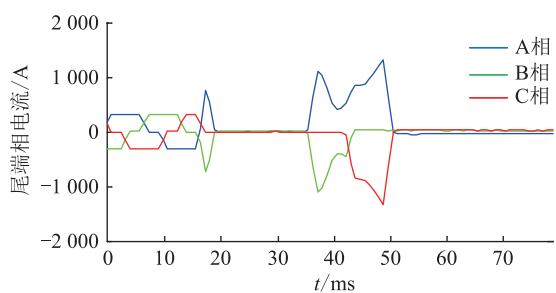


图 11 Y/Y 换流变阀侧尾端电流波形

Fig.11 Current waveform at the tail of Y/Y-converter transformer valve side

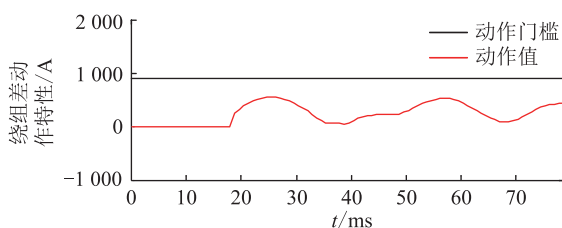


图 12 Y/Y 换流变阀侧绕组差动作特性

Fig.12 Operating characteristic of winding differential protection at Y/Y-converter transformer valve side

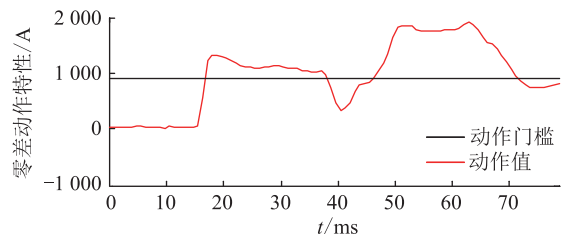


图 13 Y/Y 换流变阀侧零序差动作特性

Fig.13 Operating characteristic of zero-sequence differential protection at Y/Y-converter transformer valve side

从波形可以看出,故障发生后阀侧电流有较大畸变,各次谐波含量丰富,有较大零序差流。使用现有动作特性的换流变绕组差灵敏度不足,无法动作;在相同定值下,使用峰值算法的零序差动可以可靠动作。

4 结语

文中从直流输电系统的结构出发,总结了换流变阀侧单点接地故障下的波形特征及现有保护的绩效,针对现有不足提出了优化改进判据。现场数据和 RTDS 仿真波形特征同文中分析一致,可以验证文中理论分析和判据优化的正确性。优化后判据可以提高换流变压器保护在阀侧区内单点接地故障下的灵敏度、动作速度及故障定位准确度。提高灵敏度和动作速度可以进一步提升整个保护系统在部分极端情况下(如定值或测量回路异常导致直流相关保护不能动作情况)的可靠性;而精准定位故障,有利于现场事故分析处理,加快恢复送电的速度。同时,文中指出对于 Y/D 接线的换流变,受 CT 安装问题等影响,优化判据存在一定局限性;而 CT 暂态特性导致的测量误差对新判据的影响也需要通过现场的数据收集总结进一步验证。

参考文献:

- [1] 崔嘉奇. 海外柔性直流输电工程项目质量管理体系及成熟度评价[J]. 发电技术,2020,41(4):361-368.
- [2] 冯长有,姚伟锋,江叶峰,等. 特高压直流运行风险评估技术研究及应用[J]. 智慧电力,2020,48(7):30-37.
- [3] 张安安,周志通,庄景泰,等. 基于行波瞬时振幅的高压直流输电线路故障测距方法研究[J]. 智慧电力,2020,48(2):78-84.
- [4] 张国辉,景柳铭,王宾,等. 谐波引起的高压直流输电连续换相失败抑制方法研究[J]. 电力系统保护与控制,2020,48(5):33-41.
- [5] 庞福滨,刘琦,嵇建飞,等. 直流输电工程直流电流互感器现场暂态校验技术[J]. 电力系统保护与控制,2019,47(14):

- 179-187.
- PANG Fubin, LIU Yu, JI Jianfei, et al. On-site transient performance calibration of DC current transformer for HVDC transmission project [J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(14):179-187.
- [6] 赵毓君. 高压直流输电工程技术[M]. 北京:中国电力出版社, 2004.
- ZHAO Wanjun. HVDC transmission engineering technology [M]. Beijing:China Electric Power Press, 2004.
- [7] 陈潜, 张尧, 钟庆, 等. ± 800 kV 特高压直流输电系统运行方式的仿真研究[J]. 继电器, 2007, 35(16):27-32.
- CHEN Qian, ZHANG Yao, ZHONG Qing, et al. Simulation of ± 800 kV UHVDC system under different operation modes [J]. Relay, 2007, 35(16):27-32.
- [8] 梁旭明, 张平, 常勇. 高压直流输电技术现状及发展前景[J]. 电网技术, 2012, 36(4):1-9.
- LIANG Xuming, ZHANG Ping, CHANG Yong. Recent advances in high-voltage direct-current power transmission and its developing potential [J]. Power System Technology, 2012, 36(4):1-9.
- [9] 朱清代, 张纯, 石玉东, 等. 直流输电单极故障引发接地极线路击穿的定位方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(12):64-70.
- ZHU Qingdai, ZHANG Chun, SHI Yudong, et al. Research on location method of grounding electrode line fault caused by unipolar fault of HVDC transmission system [J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(12):64-70.
- [10] 吕鹏飞, 梁志峰, 阮思焜, 等. 南桥换流站 500 kV 换流变压器故障保护动作分析[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(16):125-128.
- LYU Pengfei, LIANG Zhifeng, RUAN Siye, et al. Protection action analysis of 500 kV converter transformer fault in Nanqiao converter station [J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(16):125-128.
- [11] 罗海云, 余江, 欧开健. 换流变压器阀侧接地故障特性分析[J]. 中国电力, 2009, 42(6):84-87.
- LUO Haiyun, YU Jiang, OU Kaijian. Grounding fault analysis at converter transformer valve side [J]. Electric Power, 2009, 42(6):84-87.
- [12] 朱韬析, 夏拥, 何杰, 等. 逆变侧换流变压器阀侧接地故障特性分析[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(1):96-99.
- ZHU Taoksi, XIA Yong, HE Jie, et al. Analysis on the characteristics of grounding fault at inverter transformer valve side [J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(1):96-99.
- [13] 林磊, 陈川, 胡鑫, 等. 不同故障下特高压换流变压器差动保护动作特性分析[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(21):123-133.
- LIN Lei, CHEN Chuan, HU Xin, et al. Research on the characteristics of ultra-high voltage converter transformer differential protection under the internal and external faults [J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(21):123-133.
- [14] 郑涛, 胡鑫. 特高压换流变故障性涌流产生机理及其对差动保护的影响[J]. 电力自动化设备, 2019, 39(5):109-115.
- ZHENG Tao, HU Xin. Fault inrush current mechanism of UHV converter transformer and its impacts on differential protection [J]. Electric Power Automation Equipment, 2019, 39(5):109-115.
- [15] 张晓宇, 文继锋, 程骁, 等. 换流变压器励磁涌流特性及其对差动保护的影响[J]. 江苏电机工程, 2013, 32(5):52-54, 58.
- ZHANG Xiaoyu, WEN Jifeng, CHENG Xiao, et al. The characteristic of the inrush current of converter transformer and its impacts on differential protection [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2013, 32(5):52-54, 58.
- [16] 丁苏阳, 林湘宁, 翁汉琮, 等. 换流变零差保护在故障切除恢复性涌流期间的误动风险分析[J]. 中国电机工程学报, 2017, 37(S1):12-20.
- DING Suyang, LIN Xiangning, WENG Hanli, et al. Mal-operation risk analysis on zero-sequence differential protection of converter substation during existence of recovery inrush due to fault removal [J]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37(S1):12-20.
- [17] 饶宇飞, 张鹏辉, 李程昊, 等. 励磁涌流对高压直流输电系统换相失败的影响机理及评估方法[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(13):54-61.
- RAO Yufei, ZHANG Penghui, LI Chenghao, et al. Mechanism and evaluating method for HVDC commutation failure caused by inrush current [J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(13):54-61.
- [18] 王友怀, 张浩, 周虎兵, 等. 计及涌流影响的零序电流保护风险评估[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(10):120-126.
- WANG Youhuai, ZHANG Hao, ZHOU Hubing, et al. Risk assessment of zero sequence current protection considering inrush current [J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(10):120-126.
- [19] 高爱云, 聂娟红, 李晓华, 等. 换流变压器阀侧单相接地故障保护动作分析[J]. 电工电能新技术, 2010, 29(4):71-75.
- GAO Aiyun, NIE Juanhong, LI Xiaohua, et al. Protection analysis of single-phase ground fault at converter transformer valve side [J]. Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy, 2010, 29(4):71-75.
- [20] 张红跃, 熊章学, 周君文, 等. 超高压直流输电系统换流变阀侧单相接地故障浅析[J]. 电工文摘, 2013(3):52-55.
- ZHANG Hongyue, XIONG Zhangxue, ZHOU Junwen, et al. Analysis of single-phase ground fault on converter transformer valve side of UHVDC transmission system [J]. Electrical Engineering Digest, 2013(3):52-55.
- [21] 申洪明, 宋璇坤, 韩柳. 直流换相失败对换流变零序电流保护的影响分析[J]. 变压器, 2018, 55(2):43-46.
- SHEN Hongming, SONG Xuankun, HAN Liu. Influence of commutation failure on zero-sequence current protection of converter transformer [J]. Transformer, 2018, 55(2):43-46.
- [22] 申洪明, 宋璇坤, 黄少锋, 等. 换相失败对 TA 传变特性及换

流变差动保护的影响分析[J]. 电力自动化设备, 2018, 38(4):218-223.

SHEN Hongming, SONG Xuankun, HUANG Shaofeng, et al. Effect of commutation failure on transfer characteristics of CT and differential protection of converter transformer[J]. Electric Power Automation Equipment, 2018, 38(4):218-223.

[23] 高爱云, 聂娟红, 蔡泽祥. 三绕组换流变压器阀侧单相接地保护动作分析[J]. 变压器, 2011, 48(2):67-71.

GAO Aiyun, NIE Juanhong, CAI Zexiang. Protection analysis of single-phase ground fault on valve side of three-winding con-

verter transformer[J]. Transformer, 2011, 48(2):67-71.

作者简介:



张晓宇

张晓宇(1981),男,硕士,高级工程师,从事电力系统继电保护相关工作(E-mail:zhangxiaoyu@nrec.com);

郑超(1987),男,硕士,高级工程师,从事电力系统继电保护相关工作;

莫品豪(1985),男,硕士,高级工程师,从事电力系统继电保护相关工作。

Analysis and protection optimization of grounded fault in valve side of converter transformer

ZHANG Xiaoyu^{1,2}, ZHENG Chao^{1,2}, MO Pinhao^{1,2}, GU Qiaogen^{1,2}, ZHANG Chunhe^{1,2}

(1. NR Electric Co., Ltd., Nanjing 211102, China;

2. NARI Group (State Grid Electric Power Research Institute) Co., Ltd., Nanjing 211106, China)

Abstract: Converter transformer is an important part of HVDC transmission system. There is no grounding point in the AC side of converter valve, but there is grounding point in the DC side. When one phase grounded fault occurs in the valve side of converter transformer, the fault current changes irregularly with the opening and closing of the converter valves, and the sensitivity of converter transformer protection is usually low. In extreme cases, when the neutral point of Y/Y-connected transformer valve side grounded fault occurs, the protection of converter transformer itself can not trip quickly. Based on the structure and operating conditions of converter transformer, the current characteristics of valve side grounded fault are analyzed, and the characteristics of existing protection are analyzed. Based on the principle of zero sequence differential protection and fast zero sequence overcurrent protection, an optimization scheme of existing converter valve side protection is proposed. It is validated by fault record from a converter substation and simulation waveform from RTDS. The results show that the optimization scheme can effectively improve the sensitivity, operating speed and fault location accuracy of the converter transformer protection under the one phase grounded fault in the valve side.

Keywords: converter transformer protection; grounded fault in valve side; zero sequence differential protection; fast zero sequence overcurrent protection; peak recognition

(编辑 方晶)