

高压直流输电开路试验中换流阀设备保护的探讨

李 侠, 陈 干

(西安西电电力系统有限公司, 西安 710077)

摘要: 在呼伦贝尔至辽宁直流输电工程换流阀直流开路试验中, 由于换流阀多次保护触发动作引起系统跳闸, 导致站系统试验无法进行。笔者结合该试验过程, 从直流开路试验基本原理、换流阀监控和极控制保护几个方面进行分析讨论, 提出阀控单元(VCU)对换流阀的保护完全可以保证换流阀设备的安全, 极控制保护对换流阀保护触发动作的监控可只作为监视, 不必产生系统跳闸, 从而保证 OLT 试验顺利进行。

关键词: OLT 试验; 换流阀; VCU; 保护触发

中图分类号: TM721.1

文献标志码: B

文章编号: 1001-1609(2012)03-0086-04

Case Study on Converter Valve Protection in Open-circuit Test

LI Xia, CHEN Gan

(Xi'an XD Power System Co., Ltd., Xi'an 710077, China)

Abstract: In the open-circuit test of converter valve in Hulunbeier to Liaoning HVDC transmission project, the sub-system test was interrupted because of frequent tripping operations due to protection of converter valve. In this paper, the basic principle of open-circuit test, and the converter valve monitoring and pole control protection in the test are analyzed, and conclusions are drawn that VCU protection of converter valve is sufficient, and the pole control system should merely monitor the triggering action of converter valve protection instead of lead to system tripping, which may let the open-circuit test be performed successfully.

Key words: open line test(OLT); converter valve; valve control unit(VCU); protection triggering

0 引言

直流开路试验(open line test, OLT)是考核换流阀、直流场设备和直流输电线路绝缘水平以及控制系统基本触发功能是否正常的一项重要试验, 是直流系统带负荷运行前必须进行的分系统试验项目之一。呼伦贝尔至辽宁直流输电工程输送容量 3 000 MW, 额定直流电压 ± 500 kV, 输电距离约 913 km。换流阀采用双极 12 脉动接线方式。进行单极直流开路试验过程中, 当直流电压升至约 200 kV 时控制保护系统发出 PF 保护跳闸信号, 同样的试验在极控制保护 B 系统进行时同样发生跳闸, 导致试验不能继续进行^[1-9]。

1 空载加压的原理和目的

12 脉动换流阀是以 2 个 6 脉动换流阀串联构

成的, 12 脉动换流阀的输出直流电压是 6 脉动换流阀的 2 倍。从变流技术理论可知, 直流输电整流侧换流阀和逆变侧换流阀只是处于不同的运行模式, 其主电路连接关系是相同的, 因此整流侧、逆变侧都需要进行直流开路试验, 只是逆变侧测量系统的极性是相反的。图 1 表示一个 6 脉动换流阀, 其中 U_a 、 U_b 、 U_c 表示换流变压器的阀侧相电压, L_{eq} 表示包括阀电控在内的等值换相电抗, R 表示包括换流阀均压回路在内的等值负载电阻, C 表示包括换流阀均压回路和线路在内的等值电容。

以阀 V_1 为例, 在直流开路试验中由于负载端是开路的, 当阀 V_1 被触发时, U_a 通过阀 V_1 向 C 充电, 充电电压达到 U_a 触发的瞬时值时阀 V_1 由于没有维持电流而关断, 这个电压将被保持直到阀 V_2 被触发, 周而复始在直流侧形成一个开路直流电压 U_{dcio} 。在等值负载电阻无穷大的理想情况下, 式(1)给出了

收稿日期: 2011-10-19; 修回日期: 2011-11-21

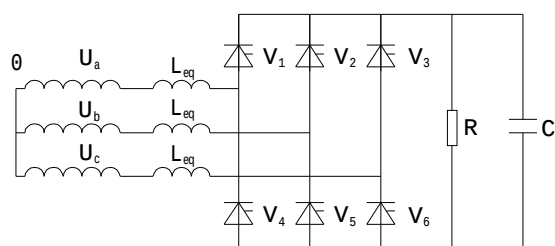


图1 6脉动换流阀原理图

Fig. 1 Equivalent circuit of 6 pulse converter

12脉动换流阀开路直流电压 U_{dcl0} 与控制角 α 之间的关系。

$$U_{dcl0} = \frac{4}{3} \times \frac{\pi}{\sqrt{3}} \times U_{dio} \times \cos(\alpha - 60^\circ) \quad (1)$$

在实际情况中由于换流阀均压回路、电晕放电等因素,在按式(1)计算的控制角 α 下直流电压要比参考值小,尤其是在带线路试验时这种偏差会更大。值得一提的是,通过继续减小控制角 α 可以使直流电压上升到额定值。在线路气候等因素的影响下等值电阻 R 会进一步减小,此时控制角 α 甚至小于 60° 才能使输出电压达到额定值。呼辽木家站极 I 不带线路 OLT 试验当控制角 α 达到 96.3° 时直流电压达到额定 -500 kV。

进行直流开路试验(OLT)的目的在于验证换流阀以及换流变、穿墙套管、直流场和直流输电线路等一次设备的电压耐受能力,同时检查极控制系统的触发信号与换流阀主电路相位是否同步、直流测量系统的信号是否正常^[10-13]。

2 试验出现的问题

换流变充电后换流阀随之带电,阀控单元 VCU (valve control unit)显示来自换流阀的回报信号 IP 全部正常,当换流阀解锁后,VCU 立即产生 FP 触发脉冲信号。随着控制角 α 的减小,直流电压逐渐上升,当直流电压上升至大约 -200 kV 时,控制保护产生跳闸输出,直流电压回落到零。控制保护显示换流阀保护触发报警跳闸,信号来自 VCU 内的 THM (thyristor monitoring)。用笔记本电脑连接到 THM 就地查看结果与控制保护的情况相符,THM 监测到换流阀正向保护触发动作,内部变量 PF_ALARM 为 2。这说明跳闸信号是由控制保护直接发出的,但是控制保护产生跳闸信号的原因是 VCU 监测到正向保护动作信息,因而有必要对 VCU 对换流阀的正向保护监测的原理和控制保护对 PF_ALARM 变量信息的处理进行分析。

2.1 VCU/THM 对换流阀正向保护信息的监控

正向触发保护是晶闸管串联时必须考虑的一项

保护措施。简单地讲,能耐受较高电压等级的换流阀是由多个晶闸管级串联构成的,这就要求这些串联的晶闸管级必须均匀地分担换流阀的电压,并且同时开通关断。假如除了其中一个晶闸管级之外的其它晶闸管级都全部导通,这个晶闸管级将会承受整个阀的高电压。这种情况下只有强制触发导通这个晶闸管级才能保护其不被损坏,这种触发就是正向保护触发。每个晶闸管级的这个正向保护触发功能是由安装在该晶闸管级上的晶闸管控制单元 TCU (thyristor control unit) 来完成的,TCU 监测晶闸管两端的电压,如果超出设计设定值时则产生一个触发脉冲,使该晶闸管级导通,同时通过回报光纤将一个指示脉冲送到 VCU/THM 作为触发保护动作指示。该指示脉冲和正向电压建立指示脉冲的区别仅在时序的先后上,如果有触发保护动作指示脉冲,那么一定是在正向电压建立指示脉冲之后。这样当 VCU 在触发脉冲 FP 发出后一个时间段里收到来自 TCU 的指示脉冲即判断为正向保护触发动作。为了证实上述的分析,在现场从 VCU 屏柜引出 FP 和 IP 电信号用示波器进行测量,得到的 FP 和 IP 波形见图 2。

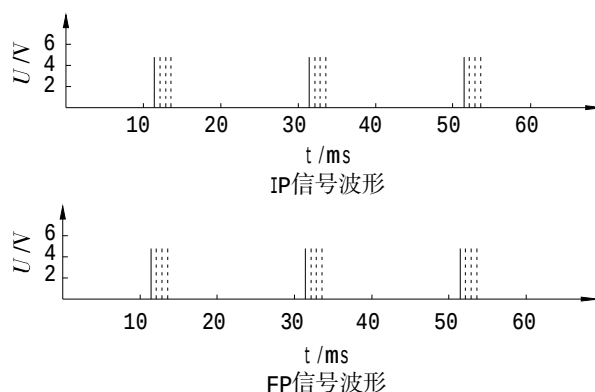


图2 OLT试验中FP和IP脉冲波形

Fig. 2 FP and IP shape in OLT test

从图2可以看出,在OLT试验中由于阀内各晶闸管电压动态分布的不均匀性,一个周期内换流阀多次产生IP指示脉冲,同时VCU也多次产生FP触发脉冲,并且测量到的第1个IP和FP之后的脉冲(虚线脉冲)相位晃动、数量不定。多次产生的FP触发脉冲是VCU的补发触发脉冲,即晶闸管被触发导通后由于电流断续又立刻关断而再次承受正向电压,此时VCU又发出FP触发脉冲。当前周波内TCU的取量被用尽时指示脉冲IP消失,FP也随之不再产生,直到下一个周波重新开始。在这个重复触发关断的过程中,晶闸管级回报的指示脉冲IP和保护触发指示脉冲PF可能产生重叠,因此VCU便检测出了某晶闸管级保护触发动作信号。

2.2 极控制保护对 PF_ALARM 信息的处理

极控制进行 OLT 试验有手动和自动两种方式。手动方式下解锁换流阀、通过设定 OLT 试验电压的参考值和上升速率使直流输出电压线性地变化到参考值、在额定电压保持一段时间、降低电压,直至闭锁换流阀结束试验。自动方式下由程序按上述过程执行试验的各个步骤,该试验过程可以随时停止电压升降和闭锁换流阀。一般情况先按手动方式进行试验,手动试验方式通过后再按自动方式进行试验。试验过程中保护系统实时监测直流电压、直流电流、

控制角度、换流变阀侧电流以及换流阀等设备的运行状态,以保证试验中设备的安全。设备正常运行时由换流阀监测回报保护系统引起系统跳闸的条件包括:单阀晶闸管故障数量达到 6 只或单阀晶闸管保护触发动作达到 6 只,保护监测计算是由阀控单元 VCU/THM 内部来完成的。OLT 试验保护同时监测 VCU/THM 内晶闸管正向保护触发动作信息,当换流阀内任何一个晶闸管级发生正向保护触发动作时就会产生系统跳闸,功能逻辑见图 3。

系统有效信号 Active、换流阀解锁信号

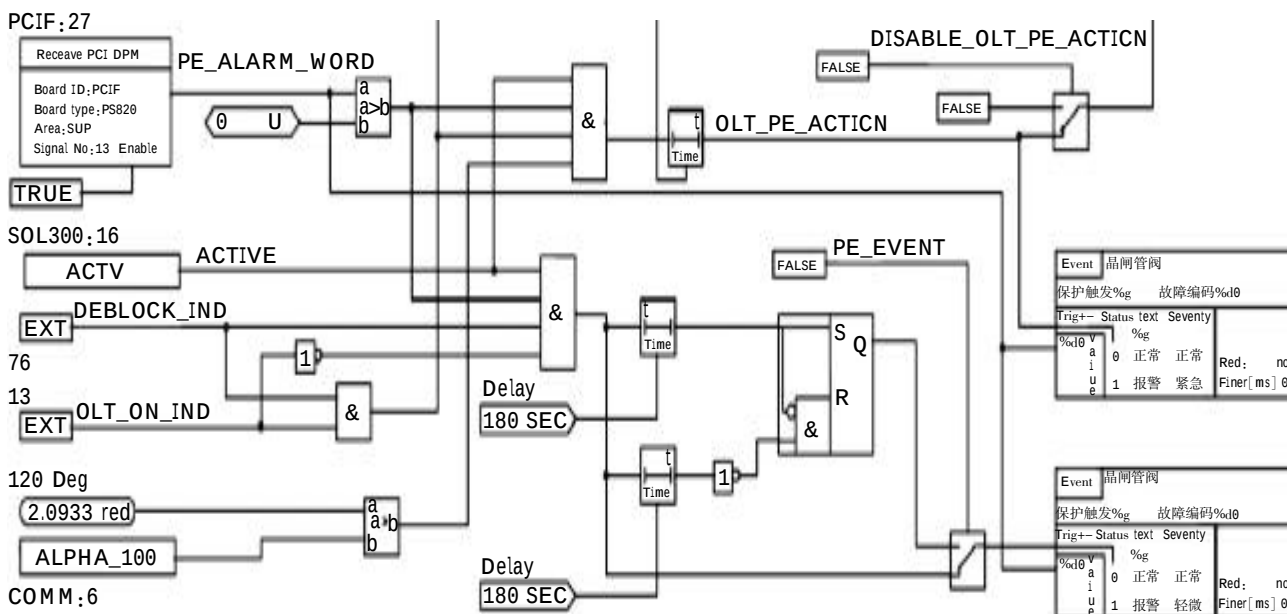


图 3 极控制保护(PCP)触发跳闸软件框图

Fig. 3 Schematic of trip function in PCP

DEBLOCK_IND 和 OLT 试验模式运行信号 OLT_ON_IND 都有效,当控制角度小于 120° 并且保护跳闸使能信号 DISABLE_OLT_PF_ACTION 无效的情况下,极控制保护监测来自 VCU 的变量 PF_ALARM_WORD 非零时立即产生跳闸信号。在空载升压过程中,当控制角度从 180° 缓慢减小到 120° 的范围里即使监测到 PF_ALARM_WORD 非零也不会引起跳闸。

3 问题的分析与处理

通过上述对换流阀和控制保护系统相关功能模块的分析可知,在 OLT 试验过程中由于换流阀各个晶闸管级电压分配不均有可能使 VCU 产生正向保护触发动作信息,VCU/THM 内部变量 PF_ALARM 被置位,极保护系统判断 PF_ALARM 为非零数值即产生跳闸输出,使直流开路试验无法进行。能不能屏蔽极控制保护内 PF_ALARM 报警跳闸信号的出口

使试验继续进行,主要取决于对换流阀设备的安全考虑。

事实上,屏蔽 PF_ALARM 报警跳闸信号的出口后试验中换流阀是安全的。首先,试验中当单阀内正向保护触发动作次数达到 6 只时 VCU 会直接发出跳闸信号;其次,正向保护触发是对单个晶闸管级过电压的一种保护措施,不会造成设备器件发生永久损坏,在设备正常运行中仍然允许个别晶闸管级正向保护触发连续动作;再次,试验中即使发生个别晶闸管损坏,VCU/THM 能够发出报警信号,当单阀内晶闸管故障数达到 6 只时 VCU 会直接发出跳闸信号。可见,阀控单元 VCU 对换流阀的保护功能是完备的,极控制保护中对单个位置的正向保护即产生系统跳闸的处理缺乏必要性。试验中可以屏蔽极控制保护内因 PF_ALARM 变量置位而产生的跳闸出口信号,而对于 PF_ALARM 的监控可以保留,以便后台监视试验中正向保护产生的情况。呼伦贝尔

至辽宁直流输电工程 OLT 试验中屏蔽极控制保护内该跳闸信号, 相关设备无任何异常, 试验得以成功进行。

4 结语

在 OLT 试验中换流阀处于一种特殊的运行工况, 回报信号时序容易发生错乱导致 VCU 会产生正向保护触发动作信息, 此时 VCU 相应的内部变量 PF_ALARM 会被置位。所以 PF_ALARM 被置位并不代表换流阀真正产生正向保护触发报警, 极控制保护不必对监测到的正向保护触发动作信息进行跳闸处理, 但必须同时保证阀控单元 VCU 自身产生跳闸输出的信号出口有效, 如此处理后, 工程的 OLT 试验得以顺利完成, 相关设备完全正常。

参考文献:

- [1] 李 侠, SACHS G, UDER M. ± 800 kV 特高压直流输电用 6 英寸大功率晶闸管换流阀[J]. 高压电器, 2010, 46(6): 1-5.
LI Xia, SACHS G, UDER M. 6 inch high power thyristor valves for ± 800 kV UHVDC transmission[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(6): 1-5.
- [2] 王惠艳, 李 侠, 冯松奎. 4 500 A 晶闸管换流阀局部放电问题的分析与处理[J]. 高压电器, 2010, 46(9): 86-87.
WANG Hui-yan, LI Xia, FENG Song-kui. Analysis and treatment of partial discharge excess in 4 500 A thyristor valve[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(9): 86-87.
- [3] 浙江大学直流输电编写组. 直流输电[M]. 北京: 中国电力出版社, 1982.
HVDC Writer Group of Zhejiang University. High voltage direct current transmission [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1982.
- [4] 赵畹君. 高压直流输电工程技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
ZHAO Wan-jun. High voltage direct current transmission technology[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.
- [5] 王明新, 谢国平. 高压直流输电开路试验原理的探讨[J]. 电网技术, 2004, 28(22): 11-14.
WANG Ming-xin, XIE Guo-ping. Investigation on open line test principle of HVDC [J]. Power System Technology, 2004, 28(22): 11-14.
- [6] 袁清云. HVDC 换流阀及其触发与在线监测系统[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999.
YUAN Qing-yun. HVDC converter and its control monitor system[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1999.
- [7] 任孟干. 高压晶闸管触发与在线监测系统的应用研究[D]. 北京: 中国电力科学院, 2002.
REN Meng-gan. Study on the photoelectric firing and monitoring system for high voltage thyristor valves [D]. Beijing: CEPRI, 2002.
- [8] 卞星明, 惠建峰, 黄海鲲, 等. 气压湿度对负直流电晕特性影响的研究[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(4): 118-124.
BIAN Xing-ming, HUI Jian-feng, HUANG Hai-kun, et al. Effects of air pressure and humidity on the characteristics of negative DC corona [J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(4): 118-124.
- [9] 郭银杏. 高压直流输电系统用直流滤波电容器的研制[J]. 电力电容器与无功补偿, 2009, 30(1): 18-20
GUO Yin-xing. Development of DC filter capacitor for HVDC transmission system [J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation [J]. 2009, 30(1): 18-20
- [10] 王惠艳. 晶闸管结温过高跳闸分析[J]. 高压电器, 2010, 46(10): 102-104.
WANG Hui-yan. Analysis of the thyristor trip caused by overhigh junction temperature [J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(10): 102-104.
- [11] 张建峰, 马振军. HVDC 直接光控换流阀中激光发射电路监测中几个问题的探讨[J]. 高压电器, 2009, 45(2): 106-107.
ZHANG Jian-feng, MA Zhen-jun. Discussion on issues about laser emitter monitoring for HVDC light triggered thyristor valve [J]. High Voltage Apparatus, 2009, 45(2): 106-107.
- [12] 王英洁, 李 斌, 田 方. 高岭背靠背工程换流阀电气设计[J]. 高压电器, 2011, 47(6): 34-38.
WANG Ying-jie, LI Bin, TIAN Fang. Gaoling back to back project thyristor valve electrical design [J]. High Voltage Apparatus, 2011, 47(6): 34-38.
- [13] 李 强, 周敏刚, 陈 楠, 等. 特高压直流换流阀单阀交流试验方法研究[J]. 高压电器, 2011, 47(8): 1-4.
LI Qiang, ZHOU Min-gang, CHEN Nan, et al. Study on AC voltage test method of UHVDC valve [J]. High Voltage Apparatus, 2011, 47(8): 1-4.

李 侠(1967—), 女, 高级工程师, 从事 HVDC 晶闸管换流阀及其相关设备的研究。

陈 干(1978—), 男, 工程师, 从事 HVDC 晶闸管换流阀及其相关设备的研究。