

云广工程阀组旁路开关控制策略研究

张志朝¹, 王海军²

(1. 中国南方电网超高压输电公司广州局, 广东 广州 510663;
2. 中国南方电网超高压输电公司检修试验中心, 广东 广州 510663)

摘要: 详细总结了云广特高压直流系统的各种不同运行方式对阀组旁路开关状态的要求。着重分析了第二个阀组解锁、第一个阀组闭锁和第一个阀组紧急停运 (ESOF) 时阀组旁路开关的控制策略; 阐明了换流阀触发脉冲与阀组旁路开关间的配合方式, 并采用 RTDS 实时数字仿真系统对上述三种阀组解闭锁情况下阀组旁路开关的控制过程进行了仿真分析。立足于现场运行维护角度提出了阀组旁路开关的操作逻辑中应增加大电流闭锁手动操作逻辑, 以保证设备安全。

关键词: 特高压直流系统; 触发脉冲; 旁路开关; 控制策略; 运行维护

Control strategy for valve group bypass switch in Yun-Guang project

ZHANG Zhi-chao¹, WANG Hai-jun²

(1. GZ Bureau, EHV Power Transmission Company, CSG, Guangzhou 510663, China;
2. Test & Maintenance Center of EHV Power Transmission Company, CSG, Guangzhou 510663, China)

Abstract: The requirement on the valve group bypass switch (BPS) is summarized for all different operation modes of Yun-Guang UHVDC power transmission system. The control strategy of valve group bypass switch is analyzed in detail for deblocking the second valve group, manually blocking the first valve group and the first valve group ESOF. After that, the cooperation way between valve group firing angle and bypass switch is expounded, even more, the control processing of bypass switch for valve group deblock, block and ESOF above mentioned is analyzed in detail by using real-time digital simulation (RTDS) system. At last, from the viewpoint of operation and maintenance work, manually switching off valve group bypass switch should be inhibited by big current to ensure equipment more safety.

Key words: UHVDC power transmission system; firing pulse; bypass switch; control strategy; operation and maintenance

中图分类号: TM721.1 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2010)14-0160-05

0 引言

云广特高压直流工程西起云南省楚雄市, 东至广东省增城市, 线路全长 1 373 km, 双极额定电压 ± 800 kV, 额定功率 5 000 MW^[1-2]。为了减少由于设备故障造成的功率损失, 增加系统运行的灵活性和可靠性, 云广工程每极采用双 12 脉动阀组串联结构^[3-4], 每个阀组均配置有一个阀组旁路开关 (Bypass Switch) Q93、一个阴极刀闸 Q1、一个阳极刀闸 Q2 和一个旁路刀闸 Q3。通过对上述刀闸的顺序操作, 实现解锁或闭锁任何一个阀组时, 不影响本极串联的另一个阀组的安全稳定运行^[5-7]。

图 1 为云广工程双 12 脉动阀组串联结构示意图。

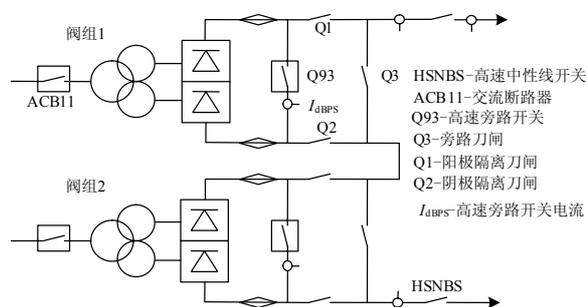


图 1 云广工程双 12 脉动阀组串联结构示意图

Fig.1 Diagram of the dual 12-pulse converters in one pole used in Yun-Guang project

首先研究了不同阀组运行状态下直流系统对阀组旁路开关的要求, 之后结合阀组解闭锁过程中的

仿真波形,分析了阀组旁路开关的分合闸过程,阐述了针对不同情况下解闭锁过程所采取的阀组旁路开关控制策略,最后针对目前阀组旁路开关控制策略中存在的问题,提出了改进建议。本文的研究成果对云广工程的软件设计及现场运行调试具有一定的指导作用。

1 云广工程各种阀组状态对旁路开关的要求

云广工程每个阀组均具有六种运行状态,分别为接地(Earth)、停运(Stop)、备用(Standby)、闭锁(Block)、解锁(Deblock)和空载升压(Open Line Test),其中,每种阀组的运行状态都与阀组旁路开关的分合闸位置有着密切的联系。

当阀组处于“备用”、“停运”及“接地”状态时,阀组旁路开关应处于分闸位置,否则阀组控制系统将判定该阀组为未定义状态。当阀组稳定运行在“解锁”或“空载升压”状态时,阀组旁路开关也必须处于分闸状态,否则会造成阀组直流侧短路。

当阀组处于闭锁状态时,旁路开关的位置需要根据另一阀组的状态确定。具体可以分为以下几种情况:

(1) 当一极的两个阀组均处于备用状态时,第一个阀组转闭锁状态前,该阀组的旁路开关应在分闸位置,以确保阀组充电时直流侧无完整电流回路。

(2) 当一个阀组(假设为阀组 2)已经处于解锁状态,另一阀组(假设为阀组 1)由备用状态转为闭锁状态时,由于阀组 2 处于解锁状态,所以 Q3 应处于闭合状态,此时阀组 1 控制系统首先闭合交流断路器 ACB11 使阀组 1 充电,然后连接 Q1 和 Q2,闭合旁路开关 Q93,打开旁路刀闸 Q3,由此实现阀组 1 与直流场的连接。

(3) 当一极的两个阀组均处于解锁状态时,如果阀组 1 由解锁状态转为闭锁状态,则首先需要闭合该阀组的旁路开关 Q93,闭锁换流器,之后闭合旁路刀闸 Q3,打开旁路开关 Q93 使电流转移到 Q3 回路,然后打开 Q1 和 Q2 实现阀组 1 的隔离。在此过程中,由于阀组 2 与直流线路一直保持连接,所以不会影响其正常运行。

(4) 当一极只有一个阀组在解锁状态,闭锁该阀组时,旁路开关保持在分闸位置不变。

(5) 当同时解锁或闭锁两个阀组时,两个阀组的旁路开关均需要保持在分闸位置不变。

2 阀组解闭锁过程中阀组旁路开关的控制策略

当一个阀组处于解锁状态时,必须确保相同极另一个阀组的解闭锁不会对运行阀组造成影响。在阀组控制系统中,当一个阀组处于解锁状态,另一阀组在进行解锁或闭锁时,必须使阀组触发脉冲释放时间、触发角度及旁路开关打开或闭合时间精确配合。下面针对具有代表意义的三种情况进行详细的分析。

2.1 解锁第二个阀组时,阀组旁路开关分闸控制策略分析

由于旁路开关本身具有的断弧能力有限,当一个阀组在解锁状态,解锁本极第二个阀组时,需要该换流阀的触发时序与阀组旁路开关的分闸时间紧密配合,以此确保阀组旁路开关打开时,流过的电流最小,使阀组旁路开关电流可靠转移到换流阀上。

为了能够使阀组旁路开关的分合控制与换流阀的触发时序紧密配合,在阀组旁路开关中设置有一个开关位置检测单元,该单元会在开关机构即将完成分闸前 10 ms 发出一个 4~20 mA 的模拟量信号,提前通知阀组控制系统,进行换流阀触发脉冲释放。

云广工程解锁第二个阀组的控制时序如图 2 所示。

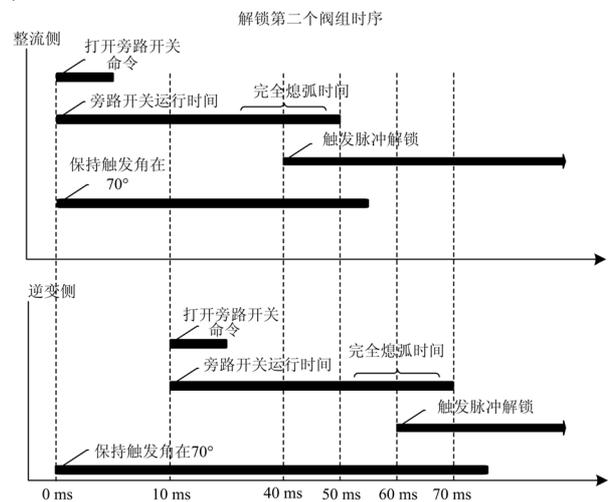


图 2 解锁第二个阀组时的控制时序

Fig.2 Diagram of time sequence for deblocking the 2nd group in the same pole

由图 2 可见,阀组解锁后首先发出分旁路开关命令,不解锁换流阀。阀组旁路开关接收到分闸命令后启动操作机构进行分闸,在该开关运行 40 ms 时,开关位置检测单元给出相应的模拟量信号到阀组控制系统,指示在 10 ms 以后开关即将打开。阀

组控制系统接收到该模拟量后立即释放触发脉冲，并且保持触发角在 70° 。由于解锁阀组的直流侧被阀组旁路开关短路，所以解锁阀组加在旁路开关上的电流与另一阀组产生的电流方向相反。通过试验发现，触发角保持在 70° 解锁后 10ms 产生的冲击电流，可以将旁路开关的电流转移到换流阀上，旁路开关上流过的电流能够满足开关灭弧能力要求。阀组旁路开关在换流阀解锁后 10ms 可靠打开，阀组控制系统再延时 6ms 根据整流侧或逆变侧将触发角由 70° 切换到正常状态，第二个阀组解锁成功。

2.2 闭锁第一个阀组时，阀组旁路开关合闸控制策略分析

当一个极的两个阀组均处于解锁状态时，如果正常闭锁其中一个阀组，在整流侧直接将阀组的触发角选择为 90° ，发出闭合阀组旁路开关的命令，同时投旁通对。由于阀组旁路开关由分闸状态转换到合闸状态需要一段时间，所以首先处于解锁状态阀组的直流电流通过阀组旁通对。旁路开关闭合发出 60ms 后，开关可靠闭合，之后 10ms 去除旁通对并闭锁触发脉冲，所有电流转移到阀组旁路开关，由此完成第一个阀组闭锁。为了尽量减小退出阀组对直流系统的影响，尽可能在两站同时退出，因此考虑到两站之间通信延时，逆变站滞后约 20ms 启动闭锁第一个阀组的顺序。

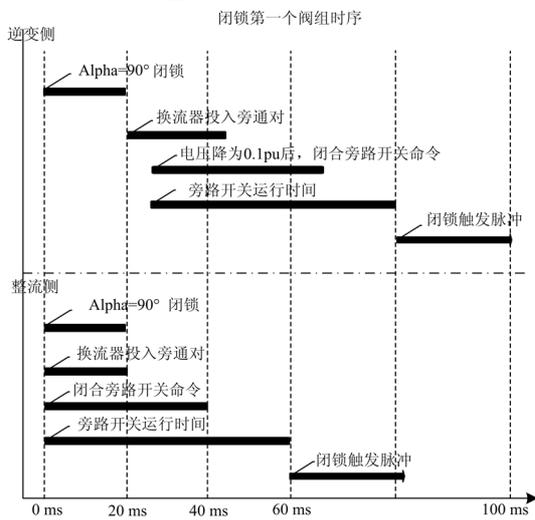


图3 闭锁第一个阀组时的控制时序
Fig.3 Diagram of time sequence for blocking the 1st group in the same pole

2.3 第一个阀组紧急停运 (ESOF) 时，阀组旁路开关控制策略分析

当一个极的两个阀组均处于解锁状态时，若其中一个阀组发生故障，阀组保护启动紧急停运 (ESOF)，则阀组触发脉冲及旁路开关的闭合时序

又与第 2.2 节中的闭锁时序不同。

如图 4 所示，为了快速与交流电网和直流系统进行隔离，一方面迅速跳交流侧开关，另一方面合本阀组旁路开关，并触发本阀组的旁通对。同时，为了降低电流对旁路开关的冲击，发生 ESOF 的阀组同时将强制移相命令至极控，对处于解锁状态的阀组进行强制移相来降低极电流。当旁通对投入并且电压降至 0.1 标么后，发出阀组旁路开关合命令。旁路开关闭合后约 10ms 去除旁通对并闭锁阀组触发脉冲，经 10ms 确认触发脉冲可靠闭锁后，移除强制移相命令，重启另一正常阀组。

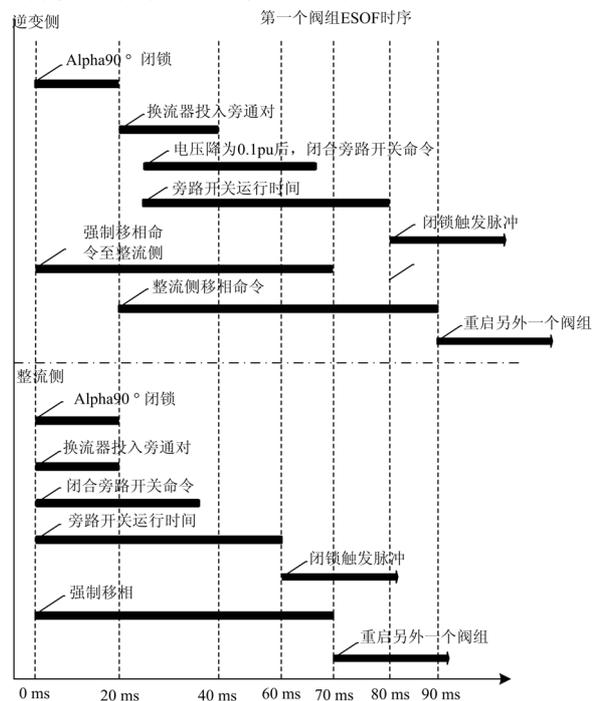


图4 双阀组运行时，一个阀组 ESOF 的控制时序
Fig.4 Diagram of time sequence for one group ESOF with two groups deblocked

3 阀组解闭锁过程中阀组旁路开关分合闸控制仿真研究

为了验证第 2 节中三种解闭锁情况下阀组旁路开关控制策略，在云广工程 DPT 试验中，通过 RTDS 实时数字仿真系统与云广工程控制保护屏柜连接，对阀组解闭锁过程中旁路开关控制策略进行了仿真研究。

3.1 解锁第二个阀组的仿真波形分析

图 5 为极 2 高端阀组运行于 200MW 功率水平下，解锁极 2 低端阀组时，逆变侧的仿真波形。

由图 5 可见，初始时刻，极 2 高端阀组正常运行，低端阀组旁路开关在合闸位置，阀组触发角限

制在 70° 等待解锁。阀组解锁后,极 2 低端阀组控制系统发出分开旁路开关的命令,在阀组旁路开关位置由闭合转变为打开时,流过阀组旁路开关的电流未出现变化,这与阀组开关位置检测单元预先设计的逻辑相符,阀组控制系统接收到开关位置变化后即释放触发脉冲,触发角开始变化,此时旁路开关也开始拉弧过程。此时由于旁路开关动作及换流阀解锁,极 2 电流有很大的抖动,最大电流达到 1 200 A 左右。流经旁路开关的电流迅速减小到零,阀组的触发角慢慢转入到逆变状态,阀组两端的电压逐渐建立至正常运行电压。由于投入双阀组运行,极 2 电流逐渐减小至原电流的一半左右,极 2 低端阀组投入成功。

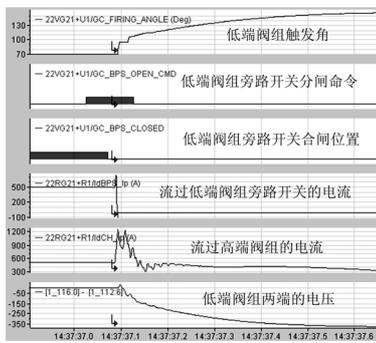


图 5 极 2 高端阀组在解锁状态时,解锁极 2 低端阀组
Fig.5 Deblock group 2 in pole 2 with group 1 deblocked

3.2 闭锁第一个阀组的仿真波形分析

图 6 为极 1 双阀组运行于 240 MW 时,手动闭锁极 1 低端阀组时,逆变侧的仿真波形。

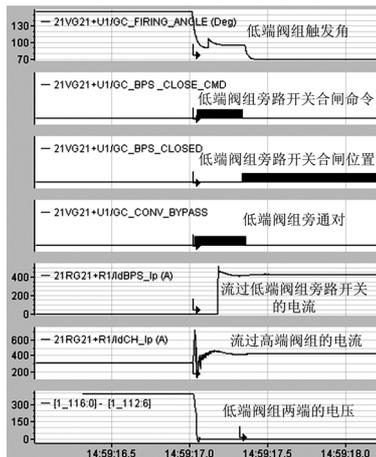


图 6 极 1 双阀组运行时,闭锁极 1 低端阀组
Fig.6 Block group 2 in pole 1 with two groups deblocked

由图 6 可见,直流系统正常运行时,极 1 低端阀组触发角 154° 左右的逆变状态。当发出闭锁低端阀组的命令后,触发角开始减小至 90° ,并经历约 20 ms 延时后投入旁通对。当电压降低至 $0.1p.u.$ 后

发出闭合旁路开关命令。极 1 电流由于低端阀组的退出而产生瞬时抖动。当旁路开关合闸到一定程度时,流经旁路开关的电流瞬时增大至流经解锁阀组的电流值。同时,由于旁通对的投入,低端阀组两端的电压以很快的速度降低至零,当阀组旁路开关完全闭合后,阀组两端的电压变为零,流经阀组旁路开关的电流稳定在处于解锁状态阀组的电流值,触发角限制在 70° ,低端阀组退出运行。

3.3 第一个阀组 ESOF 的仿真波形分析

图 7 为极 1 双阀组运行于 240 MW 时,模拟高端阀组保护动作启动 ESOF 时,逆变侧的仿真波形。

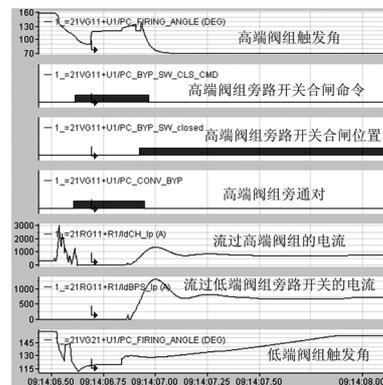


图 7 穗东极 1 双阀组运行时,高端阀组 ESOF

Fig.7 Group 1 ESOF in pole 1 with two groups deblocked in Suidong station

由图 7 可见,极 1 直流系统正常运行时,高端阀组和低端阀组的触发角控制在 154° 左右,功率 240 MW。高端阀组保护启动 ESOF 后,高端阀组立即将触发角向 90° 方向移动并投入旁通对,发闭合阀组旁路开关命令,同时,将强迫移相命令发送至低端阀组。低端阀组接收到强迫移相命令后,调节触发角到 120° 。当极 1 直流电流降低至零时,高、低端阀组触发角调节至 160° 。当阀组旁路开关闭合后,高端阀组触发角设置为 70° 并去除低端阀组移相命令。强迫移相命令去除后,低端阀组开始重启,电流逐渐增大到 600 A。整个 ESOF 过程中,由于旁通开关闭合及低端阀组强迫移相,造成直流系统电流先增大到 2 500 A 左右,之后下降到零,低端阀组强迫移相命令去除后,电流又增大到 600 A。

4 云广直流阀组旁路开关控制存在的不足及改进建议

从云广直流阀组旁路开关的控制策略及仿真波形可以看出,目前云广工程阀组旁路开关的控制策略总体上是比较完善的,能够完成特高压直流输电特有的一些阀组投退逻辑,但通过实际应用,也发

现目前控制策略仍存在一些问题:

由于直流开关的断弧能力有限,在特高压直流输电中,大部分直流开关都并联有一个谐振回路。开关拉弧过程中,谐振回路会产生振荡,使直流电流过零,最终完成开关断开操作。在云广直流工程中,旁路开关两侧没有并联谐振回路,所以在在大电流情况下不应允许手动打开旁通开关。目前的阀组旁路开关的控制逻辑中,并未加入大电流闭锁手动操作联锁条件,对运行存在安全威胁。目前该问题已得到西门子厂家认可,将在后续工作中完善软件设计。

5 结语

通过上述对阀组旁路开关的控制策略的分析及仿真试验可以得出如下结论:

- 1) 云广工程的阀组旁路开关控制策略总体上比较完善,可以满足特高压直流输电工程对于阀组解闭锁的要求。
- 2) 不同的阀组运行方式对阀组旁路开关的状态要求和控制策略是不同的。
- 3) 采用目前的阀组旁路开关控制策略在阀组解闭锁过程中会造成直流电流的短时振荡。
- 4) 阀组旁路开关控制策略中的手动联锁逻辑存在缺陷,在后续的软件设计中需要完善。

参考文献

[1] 中国南方电网公司. ± 800 kV直流输电技术研究[M]. 北京:中国电力出版社,2006:2-60.
China Southern Power Grid. Investigation on ± 800 kV UHVDC transmission technology[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2006: 2-60.

[2] 伍文城,李新,丁君,等.云广 ± 800 kV直流输电工程输电容量探讨[J].电力设备,2006,7(5):27-30.
WU Wen-cheng, LI Xin, DING Jun, et al. Discussion on transmission capacity of ± 800 kV Yunnan-Guangdong

UHVDC power transmission project[J]. Electrical Equipment, 2006, 7(5): 27-30.

[3] 袁清云.特高压直流输电技术现状及在我国的应用前景[J].电网技术,2005,29(14):6-9.
YUAN Qing-yun. Present state and application prospect of Ultra HVDC transmission in China[J]. Power System Technology, 2005, 29(14): 6-9.

[4] 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):32-37.
CHEN Qian, ZHANG Yao, ZHONG Qing, et al. Simulation of ± 800 kV UHVDC system under different operation modes[J]. Relay, 2007, 35(16): 32-37.

[5] 舒印彪,刘泽洪,高理迎,等. ± 800 kV 6400 MW特高压直流输电工程设计[J].电网技术,2006,30(1):1-8.
SHU Yin-biao, LIU Ze-hong, GAO Li-ying, et al. A preliminary exploration for design of ± 800 kV UHVDC project with transmission capacity of 6400 MW[J]. Power System Technology, 2006, 30(1): 1-8.

[6] 舒印彪,刘泽洪,袁骏,等.2005年国家电网公司特高压输电论证工作综述[J].电网技术,2006,30(5):1-12.
SHU Yin-biao, LIU Ze-hong, YUAN Jun, et al. A survey on demonstration of UHV power transmission by State Grid Corporation of China in the year of 2005[J]. Power System Technology, 2006, 30(5): 1-12.

[7] 刘振亚.特高压直流输电技术研究成果专辑(2005年)[M].北京:中国电力出版社,2006.

收稿日期:2009-08-31

作者简介:

张志朝(1980-),男,工程师,硕士研究生,从事特高压直流输电系统研究及运行维护工作;E-mail: epzczhang@126.com

王海军(1977-),男,本科,工程师,主要从事高压直流输电系统研究及检修维护工作。

(上接第159页 continued from page 159)

收稿日期:2009-10-13; 修回日期:2010-01-12

作者简介:

张兆云(1977-),男,硕士研究生,工程师,从事电力系统继电保护和数字化变电站的研究;

E-mail: zhangzhaoyun@sina.com

刘宏君(1974-),男,硕士研究生,高级工程师,从事电力系统继电保护和数字化变电站的研究;

俞伟国(1984-),男,硕士研究生,工程师,从事电力系统继电保护和数字化变电站的研究。