

特高压换流站手动切除 HP3 滤波器 导致功率回降分析

孙光宇, 任阿阳

(国网四川电力特高压宜宾管理处, 四川 宜宾 644000)

摘要: 首先介绍了特高压某换流站无功控制动作导致直流功率回降的事件; 具体分析了手动切除 HP3 滤波器导致直流功率回降的故障原因, 并指出了绝对最小滤波器控制功能软件存在的问题; 最后在现有无功控制功能基础上, 分析了满功率运行情况下存在的安全生产隐患, 同时提出了可行性解决方案, 为国内其他换流站提供了相应的借鉴。

关键词: 特高压; 功率回降; 绝对最小滤波器; 安全隐患

中图分类号: TM761 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2019)06-0081-07

DOI: 10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2019.06.017

Analysis of DC Power Runback Caused by Manual Removal of HP3 Filter in UHVDC Converter Station

Sun Guangyu, Ren Ayang

(State Grid Sichuan UHV Yibin Management Office, Yibin 644000, Sichuan, China)

Abstract: Firstly, the event that UHV reactive power control action leads to DC power runback is introduced. And then, the causes for DC power runback led by manual removal of HP3 filter are analyzed, and the problems existing in control function software of the absolute minimum filter are pointed out. Finally, on the basis of the existing reactive power control function, the hidden dangers in full power operation situation are analyzed, and the feasible solutions are proposed, which can provide a reference for other converter stations in China.

Key words: UHVDC; DC power runback; absolute minimum filter; hidden danger

0 引言

特高压换流站的运行需要消耗大量的无功功率, 对无功功率的控制则显得尤为重要。无功控制不仅要满足系统换相的无功需求, 而且需有效地滤除谐波, 从而保证母线电压稳定和交流系统正常运行^[1-2]。无功控制中优先级最高的功能为绝对最小滤波器控制(Abs Min Filter), 它限制了所需投入的最少滤波器组, 主要是为了防止部分交流滤波器组因故被切除后造成运行中的其他交流滤波器谐波过负荷, 当其他无功控制与该功能限制条件冲突时, 禁止其他功能在交流滤波器组过负荷时切除交流滤波器组^[3-4]。

下面就某特高压换流站的一次直流功率回降事件进行分析, 并提出解决方案。

1 功率回降情况分析

故障前直流功率运行方式为双极低端 1369 MW 运行; 交流滤波器为一组 HP11/13 (5631)、一组 HP24/36 (5642) 和一组 HP3 (5633) 运行; 无功控制方式为 A + B + C, 其中 A 代表 HP11/13 滤波器组, B 代表 HP24/36 滤波器组, C 代表 HP3 滤波器组。同时第一、二大组交流滤波器在检修状态。巡检发现 5633 滤波器 A 相 C1 电容器塔第四层第 2 支单支电容器漏油严重, 向国调申请投入 5641 滤波器, 退出 5633 滤波器。国调许可后, 将无功控制方式切至手动模式, 手动投入 5641 滤波器, 退出 5633 滤波器。直流站控约 30 s 后发“绝对最小滤波器不满足请求降功率”指令, 功率回降至 952 MW。

依据该站《交流滤波器最小需求报告》中的要求,

双极低端运行方式下,当功率值在 1000 ~ 2000 MW 时,绝对最小滤波器功能需求为 2A + B,如图 1 所示,说明即使切除一组 HP3 (5631) 滤波器后,还有两组 HP11/13 (5631,5641) 和一组 HP24/36 (5642) 在运行,仍然满足绝对最小滤波器需要。

现场检查直流站控无功控制软件 (RPC) 逻辑,如图 2 所示,双极低端运行方式下,当功率值在 1000 ~ 2000 MW 时,绝对最小滤波器功能需求为 A + B + C;当功率在 1000 MW 以下时,绝对最小滤波器功能需求为 A + B。若手动切除一组 HP3 滤波器后,滤波器变为 A + B 方式运行,不满足当前功率下的绝对最小滤波器功能 (Abs Min Filter) 要求,直流站控请求功率回降,功率需回降至 1000 MW 以下。

换流站共 2 组 HP3 滤波器,手动切除一组 HP3 (5633) 滤波器后,因另一组 HP3 (5623) 滤波器在检修状态,绝对最小滤波器不满足功率回降逻辑,如图 3 所示。此时已无可用 HP3 滤波器,导致无功控制绝对最小滤波器功能 (Abs Min Filter) 不满足,直流站控延时 30 s 发出功率回降至低等级功率 1000 MW 以下的指令,同时预留 50 MW 裕度,因此直流双极功率

回降至 952 MW。绝对最小滤波器不满足功率回降逻辑如图 3 所示。

2 无功投切策略隐患分析

换流站交流滤波器配置为 $4 \times \text{HP11/13} (A) + 4 \times \text{HP24/36} (B) + 2 \times \text{HP3} (C) + 10 \times \text{SC} (D)$,功率等级下绝对最小滤波器组数逻辑如图 4 所示。直流满负荷 8000 MW 运行时,Abs Min Filter 需求为 $3A + 2B + 2C$ 。正常时 HP11/13 低通滤波器剩余 1 组热备,HP24/36 高通滤波器剩余 2 组热备,HP3 滤波器无热备。RPC 软件逻辑为功率在 3200 ~ 5600 MW 时 Abs Min Filter 需求为 $2A + 2B + 1C$;功率为 5600 ~ 6000 MW 时 Abs Min Filter 需求为 $2A + 2B + 2C$;功率为 6000 ~ 8000 MW 时 Abs Min Filter 需求为 $3A + 2B + 2C$ 。

如满负荷时其中 1 组 HP3 滤波器故障跳闸,Abs Min Filter 不满足,功率将回降至 6000 MW,此时功能需求为 $2A + 2B + 2C$,Abs Min Filter 仍然不满足,功率将再次回降至 5550 MW (5600 MW 减去 50 MW 裕度),将直接造成 2450 MW 负荷损失。

交流滤波器研究报告

附录 2 定值、功率以及最小滤波器配置

双极低端阀组运行方式

ACF	BP11/BP13	HP24/36	HP3	SC	4*12p BFR	3*12p BMRR	2*12p BHRR	2*12p MFR	1*12p MHR	4*12p BRR	2*12p MRR	4*12p BFII	3*12p BMII	2*12p BHII	2*12p MFII	1*12p MHII	4*12p BRII	2*12p MRII
No.	A	B	C	D	400kV	400kV	400kV	400kV	400kV	280kV	280kV	-400kV	-400kV	-400kV	-400kV	-400kV	-280kV	-280kV
1	1	0	0	0			400	1200	600					397	754			
2	1	1	0	0	1000	1000	1000	1200	1200	1000	1000	1190	1182	1159	1174	1093	1179	1147
3	2	1	0	0	1800	1800	2000	2200	-	1600	2000	1582	1950	2564	2650	-	1563	2024
4	2	1	1	0	3200	4400	4800	1000~2000MW	3200	-	3886	4823	-	-	-	-	1942	-
5	2	2	1	0	5600	6800	-	-	-	6800	-	7478	6402	-	-	-	-	-
6	2	2	2	0	6000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	3	2	2	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	3	3	2	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	3	3	2	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	4	3	2	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	4	4	2	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

图 1 最小滤波器配置

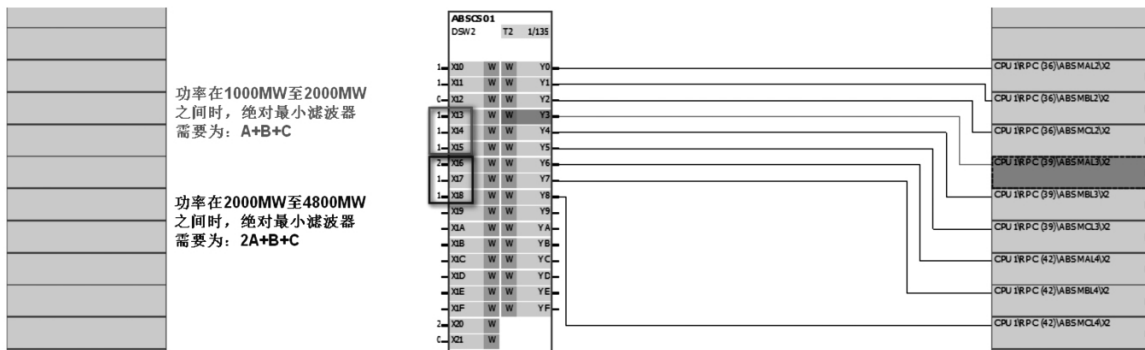


图 2 功率等级下绝对最小滤波器组数逻辑

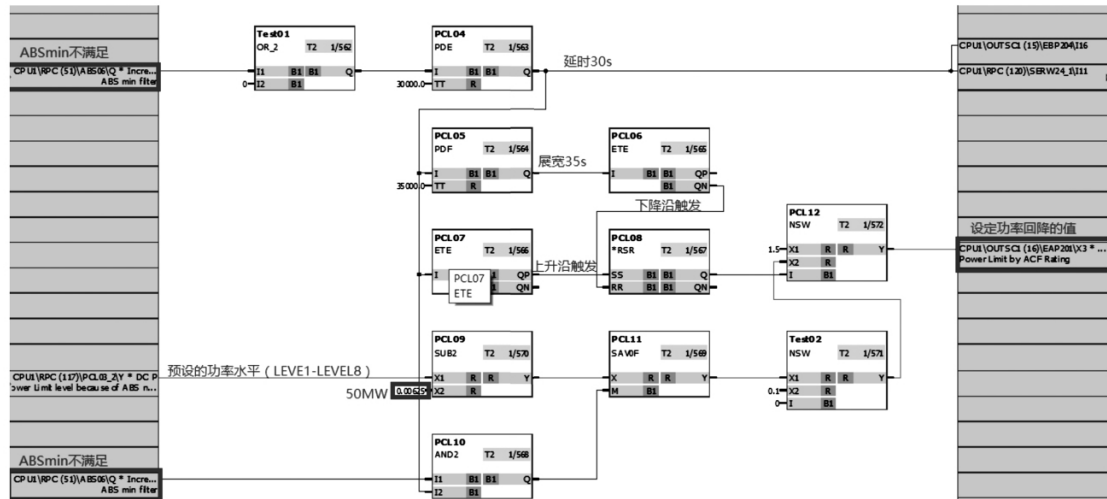


图 3 绝对最小滤波器不满足功率回降逻辑

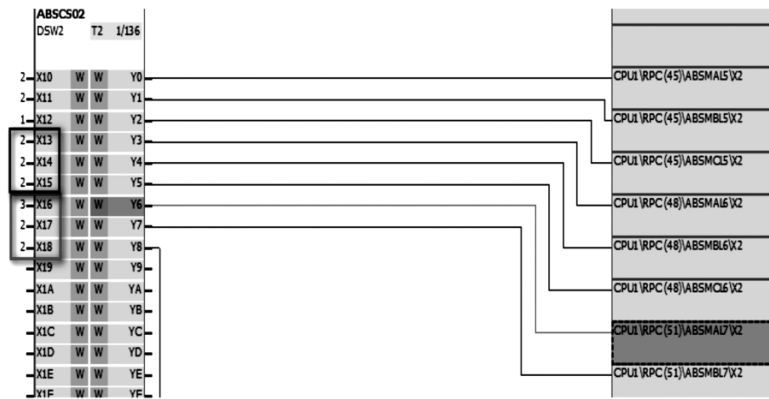


图 4 功率等级下绝对最小滤波器组数逻辑

表 1 HP3 退出影响直流对比

换流站	HP11/13	HP24/36	HP3	额定功率/MW	Abs Min Filter	单组 HP3 故障退出后影响
复龙	4 组	4 组	1 组	6400	2A + 2B + C(3A + 3B)	无
锦屏	4 组	4 组	1 组	7200	3A + 2B + C(3A + 3B)	无
天山	4 组	4 组	3 组	8000	3A + 3B + 2C	无
中州		8 组(HP12/24)	2 组	8000	4A + 1B	无

3 单组 HP3 故障退出后 Abs Min Filter 方式转换可行性分析

各换流站满负荷运行时,如单组 HP3 滤波器故障退出后对直流系统功率输送的影响对见如表 1。

由表 1 可以看出,大部分直流换流站在 HP3 不可用的情况下,可以由相同类型的滤波器替代,也可以由其他类型的滤波器组投入替代运行。但现阶段在实际工程中通过增加一次设备(HP3)数量来解决上述功率回降问题的可操作性不大,只能考虑参考

其他换流站的投切策略,修改 RPC 软件逻辑,在单组 HP3 故障退出后进行 Abs Min Filter 方式转换,以满足无功和 Abs Min Filter 需求。修改 RPC 软件逻辑后存在两个问题:1) 当所有 HP3 滤波器均不可用时,如 Abs Min Filter 使用 A 型和 B 型滤波器替代,电网中 3 次和 5 次谐波势必无法消除,需计算满负荷时电网中的 3 次和 5 次谐波分量。2) 退出一组 HP3 滤波器后使用其他类型滤波器替代,那么电网中的 3 次和 5 次谐波就只能靠再投入的一组 HP3 滤波器吸收;如果 3 次和 5 次谐波分量较大,可能造成投入的一组 HP3 滤波器过流或过负荷。

如果电网中的3次和5次谐波分量非常小,即使退出一组HP3或HP3全部不可用也不会对系统造成严重的危害。以锦屏换流站为例,其滤波器4A+3B方式下最大可承受8280 MW(1.15 p.u.)直流功率输送,从实际运行经验来看,暂未发生因单组HP3滤波器退出造成功率回降的事故。

查看故障前小组滤波器录波图,各小组滤波器首段电流约为255 A左右。不同类型滤波器组谐波分量如图5所示,HP11/13滤波器电流主要由基波

电流、11次谐波和13次谐波电流组成,比例分别为100%、44%、35%。HP24/36滤波器电流主要由基波电流及少量9次、11次和13次谐波电流,比例分别为100%、3%、3%、5%。

HP3滤波器电流中主要为基波电流,3次和5次谐波最大不超过1.5%^[5-6]。HP3滤波器保护过流II段定值为384 A(I段报警),延时0.3 s跳闸,需要电流中至少要包含130 A以上的3次或5次谐波电流,比例在60%以上,但从目前的3次和5次

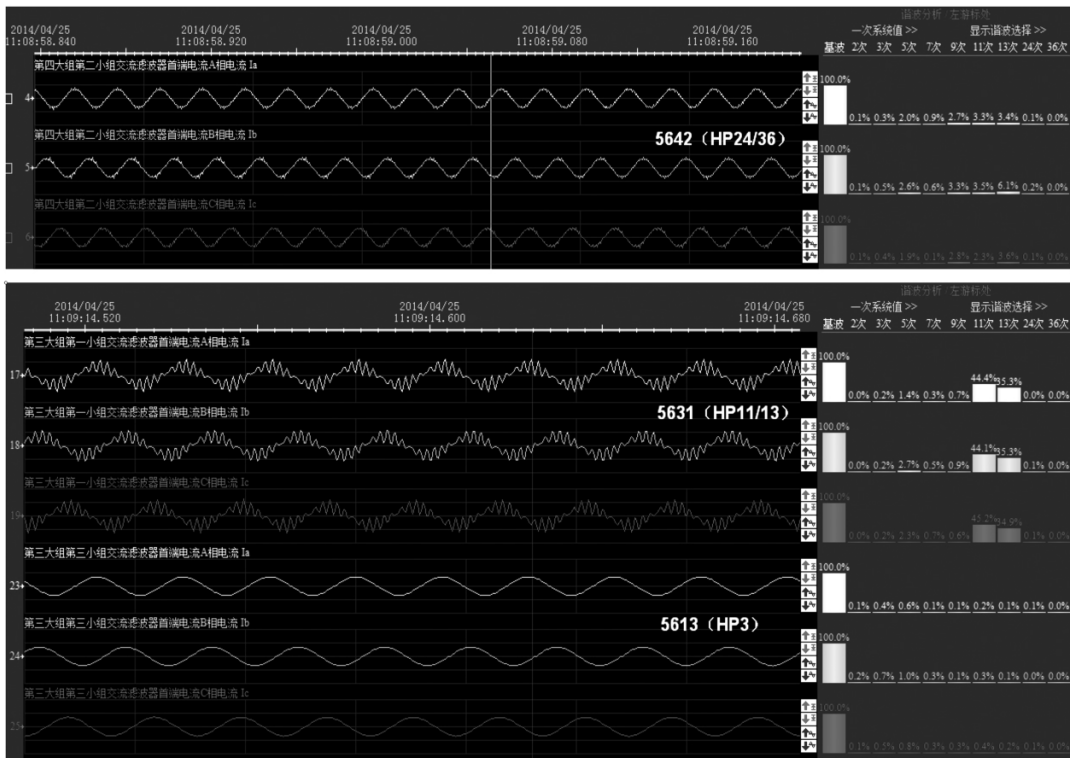


图5 不同类型滤波器组谐波分量录波

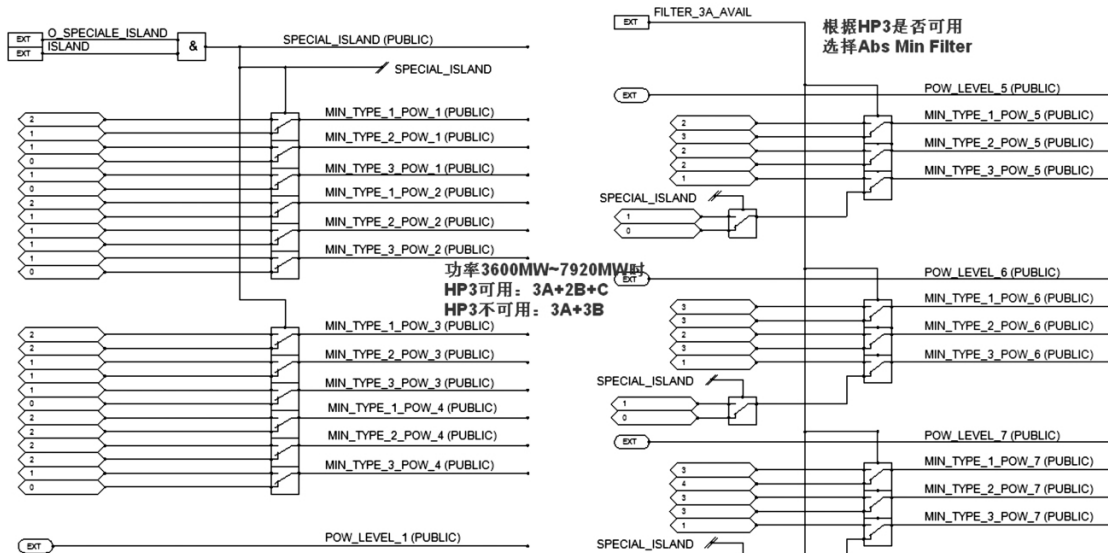


图6 锦屏换流站绝对最小滤波器组数逻辑

谐波分量来看,在无功满足前提下,退出一组HP3不会造成在运的一组HP3过流或过负荷。

4 改进措施

以锦屏换流站逻辑为例,双极四阀组全压运行,功率为3600~7920 MW(1.1 p.u.)时,如HP3滤波器可用,Abs Min Filter需求为3A+2B+C;如HP3滤波

器不可用时,Abs Min Filter需求转换为3A+3B,如图6所示。锦屏站绝对最小滤波器组数逻辑站交流滤波器配置为4A+4B+1C+5D,如满负荷7200 MW运行时,即使HP3滤波器故障退出,正常情况下仍然满足Abs Min Filter需求,不会出现因单组滤波器退出而造成回降功率的情况。

依照锦屏换流站逻辑,同时分析在一组HP3投入的情况下,3次和5次谐波对电网的危害和影响

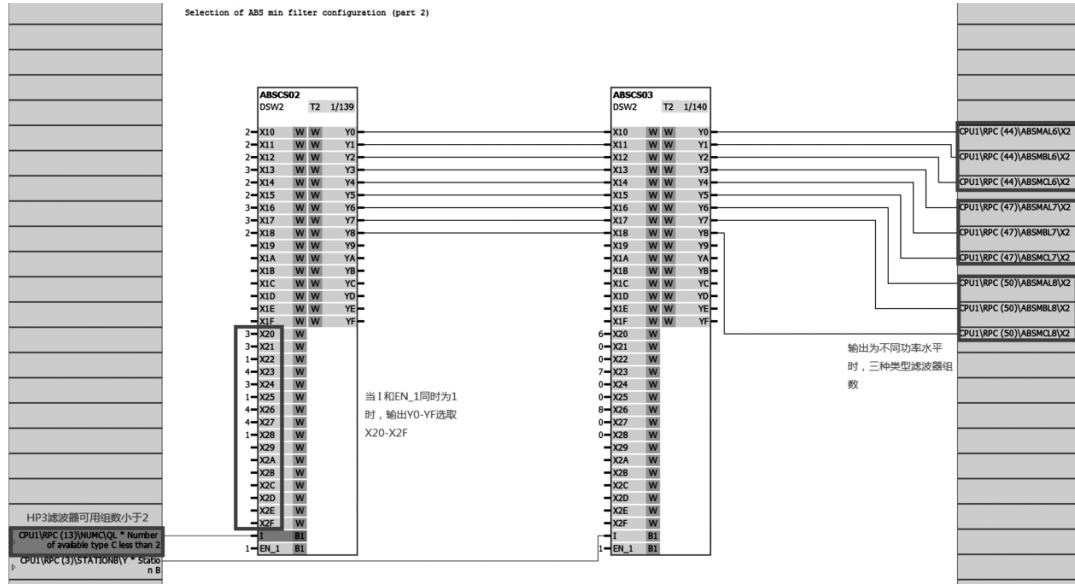


图7 软件修改后绝对最小滤波器组数投切逻辑

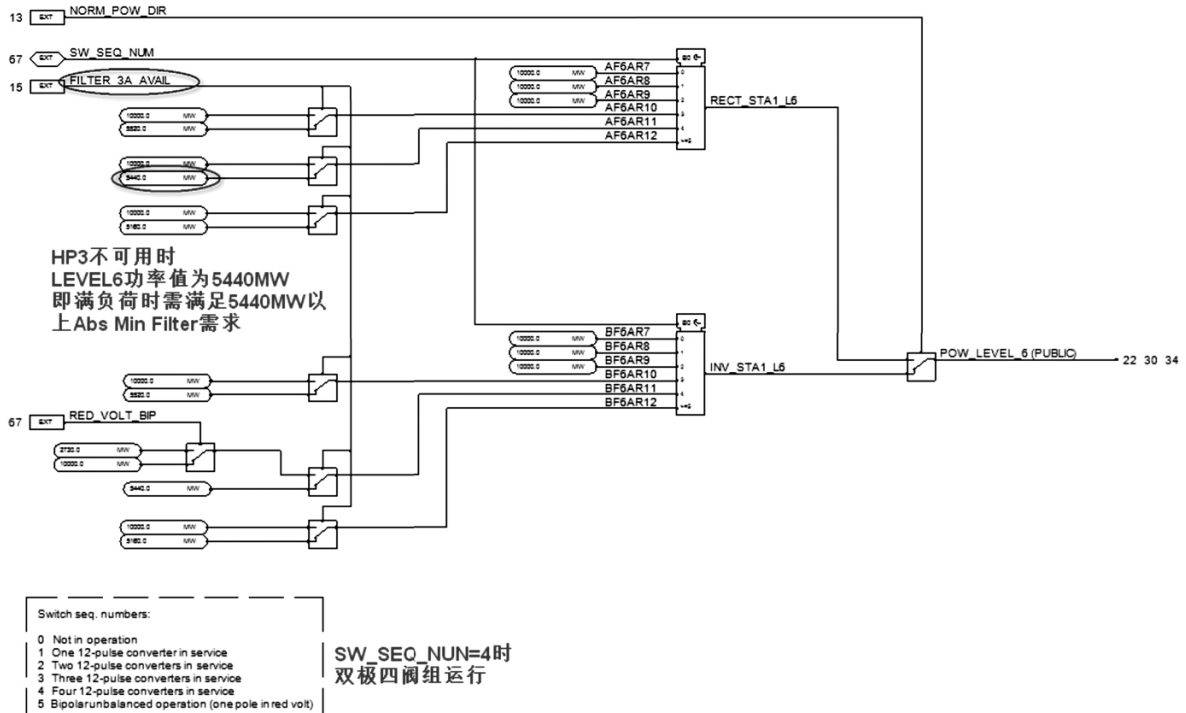


图8 复龙换流站 LEVE 6 功率水平逻辑

程度较小,对故障站软件逻辑进行修改。

修改后的控制逻辑如图7所示。当HP3可用组数小于2组时,若双极功率水平在5600~7600 MW时,可采用3A+3B+1C的滤波器配置;若双极功率水平在7600~8800 MW时,采用4A+3B+1C的滤波器配置;若双极功率水平在8800 MW以上时,采用4A+3B+1C的滤波器配置。这样可避免迎峰度夏大负荷运行时,HP3组数全部投入,一组HP3滤波器退出运行时功率回降过多的情况发生。

5 存在的问题

对比复龙换流站,其滤波器组仅有一组HP3型,考虑大负荷运行情况下,在HP3滤波器不可用时,功率限制值POW_LEVER_5由6080 MW调整为3520 MW,功率限制值POW_LEVER_6由10 000 MW(上限)转换为5440 MW,如图8所示。即满负荷时HP3滤波器故障退出后,滤波器组数必须满足5440 MW以上Abs Min Filter需求,即“3A+3B”方式。也就是说在HP3滤波器不可用的情况下,满负荷时必须满足5440 MW以上Abs Min Filter需求,否则功率将回降至5440 MW以下,在站内HP11/13和HP24/36型滤波器组有足够冗余度的情况下,其功率最多损失960 MW。

对比锦屏换流站(如图6),双极四阀组全压运行,功率为3600~7920 MW(1.1 p. u.)时,如HP3滤波器可用,Abs Min Filter需求为3A+2B+C;如HP3滤波器不可用时,Abs Min Filter需求转换为3A+3B。如满负荷7200 MW运行时,即使HP3滤波器故障退出,正常情况下仍然满足Abs Min Filter需求,不会出现因单组滤波器退出而造成回降功率的情况。

该故障站若满负荷运行,但一组HP3滤波器在检修、另一组HP3若因不确定的因素退出运行导致两组HP3同时不可用时,功率水平会回降至950 MW(1000 MW减去50 MW裕度)如表2所示,这样会造成直流功率快速损失7050 MW,对电网的冲击非常大。

6 结 语

通过对换流站手动切除HP3滤波器组回降直流功率的分析,查找到了导致直流功率回降的原因与软件逻辑中对HP3滤波器在不同功率水平的要求不合理有关。通过对软件逻辑的修改,虽然解决了当一组HP3不可用时,可以通过投入其他类型滤波器组的方式避免功率回降的事情发生,但仍旧存在当两组HP3同时不可用时,在满负荷或大负荷运行期间造成功率损失较大,对电网冲击很大的情况。

表2 某站绝对最小滤波器组数

ACF	BP11 /13	HP24 /36	HP3	双极全压 (4p)	双极混压 (3p)	双极半压 (2p)	单极全压 (2p)	单极半压 (1p)	双极降压 (4p)	单极降压 (2p)	双极不平衡 (4p)	双极全压 (4p)	双极混压 (3p)	双极半压 (2p)
NO.	A	B	C	整流										
1	1	0	0	0	0	0	400	600	0	0	0	0	0	0
2	1	1	0	1000	1000	1000	1200	1200	1000	1000	1000	1190	1182	1159
3	1	1	1	1800	1800	2000	2200	-	1600	2000	1600	1582	1950	2564
4	2	1	1	3200	4400	4800	-	-	3200	-	3000	3886	4823	
5	2	2	1	5600	6800	-	-	-	6800	-	4200	7478	6402	
6	2	2	2	6000	-	-	-	-	-	-	4800	-	-	-
6	3	2	1	5600							4200			
7	3	2	2	8000							6800			
7	3	3	1	5600							4420			
8	3	3	2	8800							7480			
8	4	3	1	7600							6460			
9	4	4	1	8800							7480			

考虑借鉴锦屏换流站的软件逻辑,在两组 HP3 同时不可用时,使用其他类型滤波器组代替运行,并研究在这种情况下 3 次和 5 次谐波对电网的危害和影响程度,分析在不消除 3 次和 5 次谐波分量的情况下直流满负荷时是否可以长时间运行。

参考文献

[1] 赵晚君. 高压直流输电工程技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2011.

[2] 邓艳平, 杨秀, 张美霞, 等. ±800 kV 向上直流换流站交流滤波器的配置与控制 [J]. 高压电器, 2017, 53(2): 8-13.

[3] 浙江大学发电教研组直流输电教研组编. 直流输电 [M]. 北京: 电力工业出版社, 1982.

[4] 许鸿飞, 刘晓波, 刘源, 等. 酒湖工程无功控制功能浅析及优化建议 [J]. 湖南电力, 2017(增刊 1): 83-87.

[5] 吕飞孔, 白雪松, 杨开黎, 等. 黑河换流站 HP3 滤波器保护动作原因分析 [J]. 黑龙江电力, 2012, 34(4): 312-315.

[6] 胡宇洋, 余珊珊. 德阳换流站 HP3 滤波器差动保护动作原因分析 [J]. 华中电力, 2011(1): 64-67.

作者简介:

孙光宇(1984), 硕士, 工程师, 研究方向为特高压直流输电技术;

任阿阳(1986), 本科, 工程师, 研究方向为特高压直流输电技术。

(收稿日期:2019-06-12)

(上接第 80 页)

通过上述解体结果可知,1034 隔离开关 B 相内部动触头杆装配固定销不紧固,触头杆窜动导致合闸时受力卡阻,造成隔离开关三相动静触头均存在不同程度接触不良现象,其中又以 B 相为最严重,在长期接触不良发热的影响下引起烧熔触头,从而使 B 相动静触头之间产生兆欧级电阻的开路情况,并最终导致该变电站 10 kV 3M 母线电压 A、B 相电压降低,并出现“10 kV 3M 母线接地”故障。

确认故障原因后,运维人员对烧损部件进行更换,并调整隔离开关后重新进行分合闸测试行程及到位情况,确保满足相关标准要求。

4 结 语

前面针对一起因变压器高压 110 kV 侧 PASS 设备故障导致变压器低压 10 kV 侧母线电压异常的案例进行仿真分析,为快速查找故障提供技术支持。

结合仿真分析结果与现场检查情况,快速确认故障部位为 1034 隔离开关 B 相触头,并进一步确定故障发生的根本原因是 PASS 设备装配隔离开关主轴固定销紧固不足所致。针对故障原因,提出相应的处理方案,为其他同类型设备类似故障提供经验总结。

参考文献

[1] 周宣. 一起 10 kV 母线停电事故的成因分析 [J]. 华电技术, 2011, 33(10): 48-50.

[2] 余卫成, 徐剑峰. 一起非典型的 10 kV 母线单相接地故障分析 [J]. 浙江电力, 2013, 32(1): 17-19.

[3] 王喜俊, 张富刚. PASS M0 紧凑型组合电器在变电站改造中的应用 [J]. 供用电, 2010, 27(1): 57-60.

[4] 王志刚. PASS M0 在 110 kV 变电站中应用的可行性 [J]. 企业科技与发展, 2008(22): 160-162.

[5] 王喜俊, 方向. PASS M0 设备在洛阳电网中的设计与应用 [J]. 电子设计工程, 2009, 17(12): 87-89.

[6] 于长顺. 发电厂电气设备 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1991.

[7] 宋学贵, 李洋. 龙首二级水电站 PASS 故障的分析及经验教训 [J]. 水电站机电技术, 2007, 30(3): 51-53.

作者简介:

张 登(1985), 硕士研究生, 工程师, 从事变电一次设备故障诊断分析研究;

徐 云(1992), 硕士研究生, 助理工程师, 从事变电一次设备故障诊断分析研究;

杨 松(1975), 助理工程师, 从事变电一次设备故障诊断分析研究。

(收稿日期:2019-10-25)