

对一起换流站交流滤波器低端电容器击穿事故分析

冷 怡 陈晓东 鲍云浮
(泸州电业局 四川 泸州 646000)

摘 要: 就一起换流站交流滤波器低端电容击穿事故展开分析,利用 PSCAD/EMTDC 软件建立电容器的电磁暂态模型开展仿真计算,得到了故障相的操作过电压,最后根据计算结果找出了故障原因,并为避免类似故障再次发生提出改进建议。

关键词: 交流滤波器; 击穿; 仿真

Abstract: A breakdown accident of a lower capacitor of AC filter that happened in a converter station is introduced. A simulation model of electromagnetic transient is established with PSCAD/EMTDC for the capacitor to analyze the process of the accident, thus the switching overvoltage of fault phase is obtained. And the fault reason is found out according to the calculation results, which gives the improvement suggestions to avoid the similar accident again.

Key words: AC filter; breakdown; simulation

中图分类号: TM864 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2013)04-0087-05

0 引 言

在高压直流输电系统中,由于换流阀由开关器件构成,会在交流侧产生大量的谐波,会对电网的输品质及现场的通信设备造成极大危害,这就需要在交流侧接入滤波器滤除特征谐波^[1];同时,换流器在运行过程中需要消耗换流容量 40%~60% 的无功,这也需要交流滤波器来提供。直流输电系统的运行性能和安全可靠程度与交流滤波器的运行状态密切相关。

1 事故介绍

1.1 事故经过

2011年10月18日00:05,某换流站双极功率由1841 MW升至2041 MW,在双极功率值升至1847.5 MW过程中,5633交流滤波器自动投入运行,此时监控系统报“5633交流滤波器低端电抗器电流异常”,现场检查发现低端电抗器、电流互感器 T2、C2 电容器外观无异常,用钳形电流表测量 T2 二次端子发现 C 相无电流, A、B 相电流正常。

将 5633 交流滤波器停电后,对 5633 C 相 T2 电

流互感器进行了绝缘、耐压、变比、二次直阻、伏安特性等试验,试验数据合格;对与 T2 电流互感器电气相连的低端电抗器 L2 进行直流电阻试验,试验数据合格;对与电抗器 L2 及 T2 的串联支路相并联的 C2 电容器组(由两只电容器并联)进行测试,发现其中一只已经导通,同时检查 F2 避雷器 C 相动作 1 次(A 相、B 相未动作)。滤波器的接线方式如图 1。

更换故障电容器后,5633 交流滤波器重新投入运行时,监控系统再次报“5633 交流滤波器低端电抗器电流异常”,停电后现场检查发现 5633 交流滤波器 C 相 C2 两只电容器均已导通,电容器外观无明显异常;C 相 F1、F2 避雷器各动作 1 次, A、B 相 F1、F2 避雷器未动作。

1.2 主要元件工况

该滤波器支路的相关元件配置情况及历年工况如下。

1.2.1 选相合闸装置

5633 交流滤波器的断路器配置了选相合闸装置,其选相逻辑为在每相电压过零点附近投入该相断路器,控制方式为定角度控制。查阅首检后历次 5633 交流滤波器投入时的故障录波记录,发现每次投入时, C 相断路器的合闸角及合闸时对应的系统电压值均明显大于 A、B 两相,具体表 1 中所示。

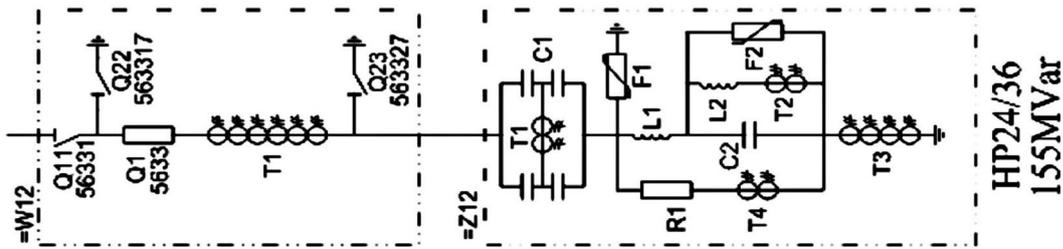


图1 5633交流滤波器接线图

表1 5633断路器的历次合闸时刻及对应的系统过电压值

日期	时间	合闸滞后于电压过零点时间 /ms			回路接通时对应的系统电压值 /kV		
		A相	B相	C相	A相	B相	C相
2011年6月5日	08:13	1.3	1.4	3.1	181.2	177.1	363.7
2011年7月2日	21:52	1.0	1.6	2.5	124.3	194.7	316.0
2011年7月5日	21:52	1.1	1.8	2.5	139.0	219.5	307.2
2011年7月8日	21:52	0.8	1.5	2.5	104.6	191.5	311.1
2011年7月21日	00:47	1.6	1.5	2.0	225.8	188.5	255.9
2011年10月18日	00:05	1.5	1.2	3.8	189.5	153.1	402.9
2011年10月19日	18:27	1.1	1.0	3.6	149.8	140.2	395.4

1.2.2 断路器

5633交流滤波器的断路器型号为LW10B-550YT配进口ABB弹簧贮能液压机构。对比该断路器技术协议、现场交接试验、首检试验的数据,发现5633交流滤波器的断路器合闸时间满足要求,合闸同期性与技术要求相符。

1.2.3 避雷器

表2 F1、F2避雷器动作次数统计

		截止2011.5.28首检时			截止2011.10.20时		
		A相	B相	C相	A相	B相	C相
动作次数	F1	14	15	27	14	15	33
	F2	13	13	14	13	13	16

5633交流滤波器的高端避雷器F1型号为Y71WL5-142/373,低端避雷器F2型号为Y7.6WL5-40/89。从2011年5月首检至事故发生时的避雷器动作次数统计情况如表2中所示。从表2的统计结果可见:C相避雷器的动作次数远高于A、B两相,这说明在滤波器投切过程中C相发生过电压的概率远高于A、B两相。

1.2.4 低端电容器C2

C2电容器为两只电容器并联结构,C2电容值为10.74μF。C2两端的操作冲击电压为60kV,最大持续电压为6.1kV。

2 事故原因分析

查看5633投入的故障录波图,C相断路器在电压过零点后3.8ms及3.6ms才出现合闸电流。与A、B相比较,C相合闸角明显偏大。

据此推测可能是选相合闸装置或断路器C相故障,导致C相合闸角偏大,合闸瞬间电压过大,造成滤波电容被击穿^[2]。于是查阅首检后历次5633交流滤波器投入时的故障录波,发现每次投入时,C相断路器的合闸角均明显大于A、B两相。首检后5633共计7次投入运行,除2011年7月21日00:47投入时,C相合闸时刻为电压过零点后2.0ms,对应电压瞬时值为255.9kV,F1避雷器未动作外,其余6次合闸时间均大于2ms,对应的电压瞬时值均高于300kV,C相F1避雷器均发生动作。首检后F2避雷器共计动作2次,且均伴生C2击穿现象。根据F2避雷器动作情况,可以初步确认C2存在过电压现象^[3-4]。

F1避雷器的3mA参考电压为201kV。根据故障录波图,A、B相断路器在选相合闸装置作用下,于电压过零点1.0~1.5ms内合闸,对应的500kV母线电压瞬时值为131.12~192.64kV,小于201kV;而C相断路器于电压过零点3.6~3.8ms内合闸,对应的500kV母线电压瞬时值为395.4~

402.91 kV,远大于201 kV。因此,在F1避雷器的动作特性下,选相合闸装置的正常工作是保证F1安全运行的必要条件。

根据5633断路器交接、首检及本次断路器机械特性试验记录,交接试验时C相断口合闸时间为61.2 ms、61.8 ms,首检试验时C相断口合闸时间为63.0 ms、63.0 ms,本次诊断试验时C相断口合闸时间为63.1 ms、63.3 ms,C相断路器合闸时间增加超过1.5 ms,大于预期值(合同规定为小于1 ms),也导致了选相合闸控制效果不佳。

此外,C2电容器极板间操作冲击电压耐压值为60 kV。根据厂家提供的F2伏安特性,在7.6 kA电流下F2的操作冲击残压为89 kV,200 A电流下的残压为77 kV。F2残压偏高也可能是造成C2击穿的原因。

3 建立仿真模型

为定量计算合闸过程中在低端电容器C2上产生的操作过电压大小,在电磁暂态仿真程序PSCAD/EMTDC中建立仿真模型,以复现故障发生时以及不同合闸条件下在C2上产生的操作过电压^[5-6]。

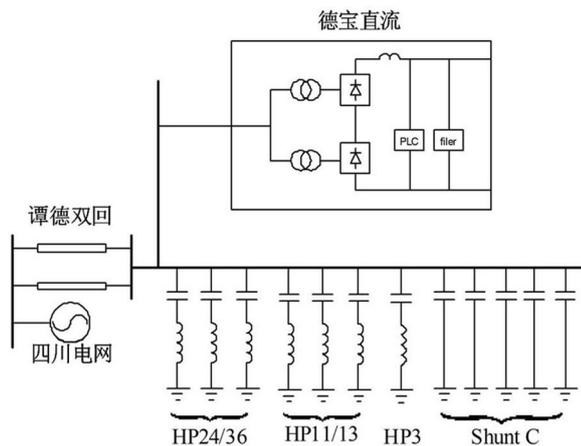


图2 电磁暂态仿真模型图

根据该换流站电气接线方式及设备基本参数,建立仿真模型如图2所示:直流为双极12脉动结构,直流系统送端采用定电流控制,受端采用定熄弧角控制,仿真中考虑换流变压器的饱和特性,换流站

无功补偿情况视直流传输功率而定。

4 仿真结果

4.1 事故模拟

设置仿真条件为:在投入5633交流滤波器前,直流传输功率为1 845 MW,换流站投入无功补偿容量 8×155 Mvar,换流母线初始工作电压为534.0 kV。投入5633交流滤波器,其A相、B相断路器合闸滞后于电压过零点时间分别为1.2 ms和1.1 ms,C相断路器合闸滞后于电压过零点时间为3.6 ms。合闸时刻设置与10月19日故障录波装置采集到的数据相同,以便重现故障过程。

经过仿真计算,对比A、B、C相曲线可发现,由于C相合闸滞后时间远大于A、B两相,造成其合闸过程中产生了较为严重的操作过电压。C相操作过电压值达到了82.7 kV,高于滤波器低端电容器C2的耐压水平60 kV,如图3所示。

在合闸过程中,A、B相的避雷器F1、F2均未动作,C相的F1、F2均动作,合闸过程中C相F1产生的能量为10.61 kJ,F2产生的能量为0.47 kJ,如图4、图5所示。虽然避雷器F1、F2对低端电容C2起到了一定的保护作用,但C2上的瞬时过电压仍高达82.7 kV,避雷器残压过高导致了C2被击穿。

4.2 合闸滞后时间与操作过电压的关系

令A相、B相断路器合闸滞后于电压过零点时间分别为1.2 ms和1.1 ms,改变C相合闸时间得到C相低端电容器操作过电压值与合闸滞后时间的关系,计算结果如表3所示,其对照关系如图6所示。

在滞后时间小于2 ms时,低端电容器两端操作过电压值基本与其呈线性关系,当滞后时间为1.5 ms时,过电压值达到60.7 kV,已经超过低端电容器的耐压值。而当滞后时间为3.6 ms时,操作过电压值达到82.7 kV,已远超低端电容器的耐压值。

5 结论及建议

电磁暂态仿真结果表明,交流滤波器低端电容操作过电压值与其断路器闭合时刻滞后电压过零点

表3 合闸滞后时间与操作过电压间的关系

合闸滞后时间 /ms	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
操作过电压值 /kV	4.33	20.7	41.3	60.7	76.3	82.1	82.7	82.7	82.8	82.6	82.8

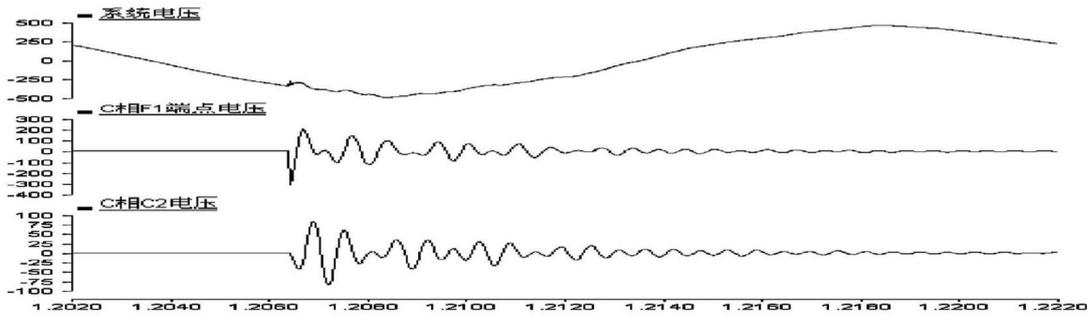


图3 5633滤波器C相电压仿真曲线

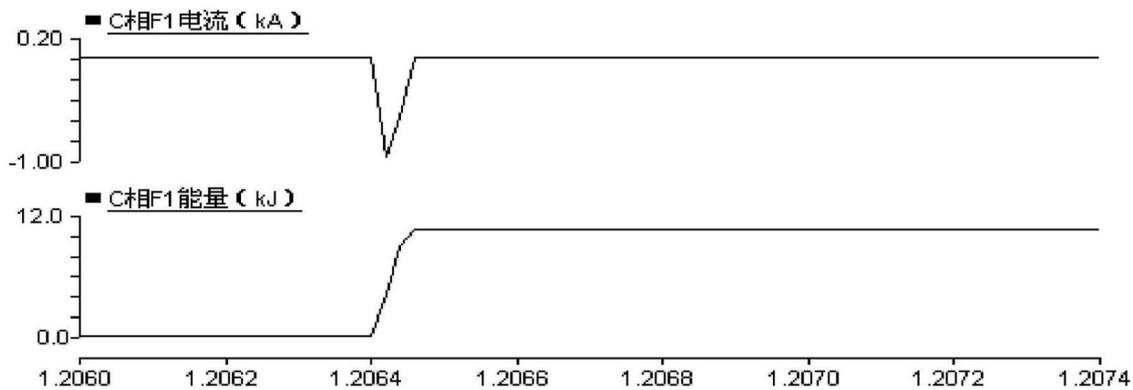


图4 避雷器F1的C相电流及能量

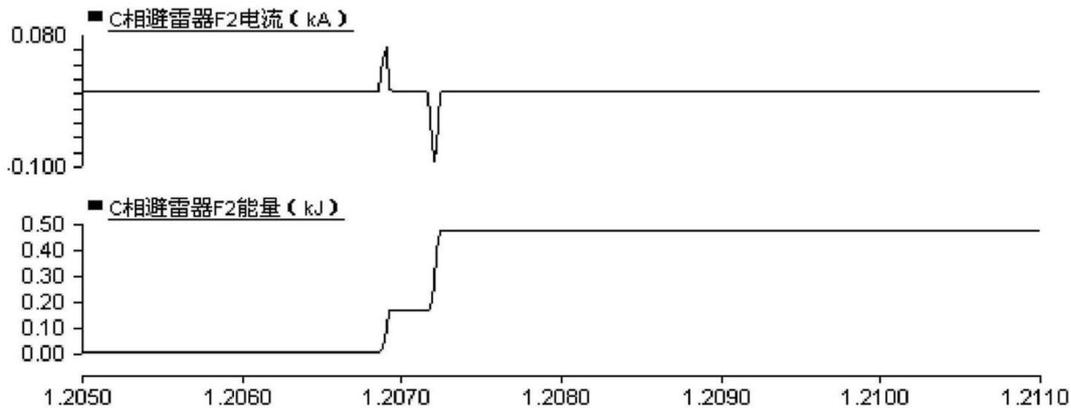


图5 避雷器F2的C相电流及能量

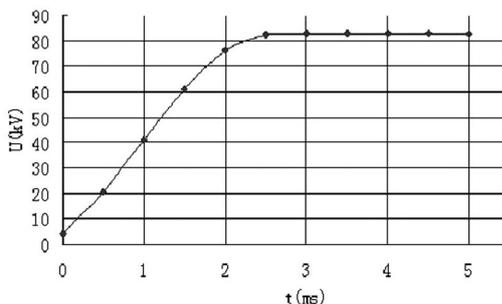


图6 合闸滞后时间与操作过电压的关系

时间相关。该换流站5633滤波器C相断路器合闸时间滞后电压过零点过多,导致合闸角偏大,形成较大的合闸冲击,使C相低端电容上产生较大的操作过电压。虽然合闸过程中C相的避雷器F1和F2

均动作,但滤波器低端电容C2的耐压值与避雷器F2的残压不匹配导致了F2的保护作用有限。这两个因素最终造成了电容器的击穿。

针对事故发生的原因,为避免类似事故再次发生,特提出以下几点建议。

(1) 在不改变电容值的情况下,将电容器C2原来的“两并”结构更改为“两串四并结构”,可减小每只电容元件两端的过电压值,使其不超过耐压水平。

(2) 选用质量可靠的选相合闸装置与断路器设备,一旦发现合闸时间异常,合闸冲击电压过大的情况,要及时进行排查检修。

(3) 滤波电容与避雷器间的配合应合理、可靠,选用避雷器的残压应小于低端电容器的耐压值,使避雷器起到应有的保护作用。

参考文献

[1] 郝巍,李兴源,金小明,等. 直流输电引起的谐波不稳定及其相关问题[J]. 电力系统自动化,2006,30(19):94-99.

[2] 林莘,孟涛,徐建源,等. 快速暂态过电压对断路器中并联电容的影响[J]. 高电压技术,2009,35(10):2361-2365.

[3] 聂定珍,袁智勇. ±800 kV 向家坝—上海直流工程换流站绝缘配合[J]. 电网技术,2007,31(14):1-5.

[4] 周沛洪,修木洪,谷定燮,等. ±800 kV 直流系统过电压保护和绝缘配合研究[J]. 高电压技术,2006,32(12):125-132.

[5] 梁海峰,李庚银,李广凯,等. 向无源网络供电的VSC-HVDC系统仿真研究[J]. 电网技术,2005,29(8):45-50.

[6] 周宗川,王勇,周建丽. ±660 kV 换流变电站330 kV 交流场启动过电压仿真分析[J]. 宁夏电力,2011(1):26-30.

作者简介:

冷怡(1981),工程师,主要从事电压无功管理、工程项目管理工作;

陈晓东(1976),高级工程师,主要从事电网规划设计、工程管理工作;

鲍云浮(1961),工程师,主要从事企业管理、电网规划设计、工程建设管理工作。(收稿日期:2013-03-07)

(上接第82页)

作主变压器高压侧隔离刀闸以隔离主变压器。若主变压器停电操作后还需对停电线路恢复供电,还应及时操作线路开关以切实达到操作目的,但应注意设计各类保护的配合,及时投切相关保护功能。

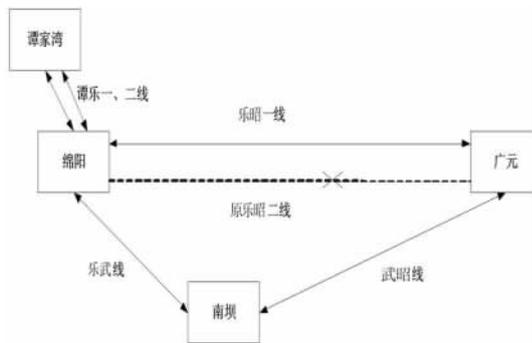


图3 绵阳—南坝—广元局域电网分布图

同时,从以上多种操作方案存在的危险点分析中可以看出,桥开关是保证供电可靠性的重要因素。从图3绵阳—南坝—广元局域电网的分布图可知,在以上各类方案的操作过程中,1号主变压器的停电操作导致武昭停电后,广元站由富乐变电站通过乐昭一线单线供电,广元站就500 kV部分形成孤网运行方式,若此时乐昭一线线路跳闸,而保护及重合闸未正确动作或误动作,广元站500 kV部分两条进线全部断电,将大大降低变电站供电可靠性,更有严重者将导致变电站乃至广元局域电网大面积停电,对电力系统的经济运行造成巨大损失。

4 防误操作措施

变电站倒闸操作的正确性是确保变电站安全可靠运行的关键,内桥接线方式下的变压器防误操作显得更为重要。综上分析,可采取下列措施切实保证供电可靠性。

(1) 严防误拉合主变压器高压侧隔离开关。由

于内桥接线的特殊性,运行时确保变压器高压侧隔离开关的正确操作是非常重要的环节,即该刀闸的基本操作条件是:只有在低、中、高压侧开关及桥开关断开后才能进行操作。因此,必须对该刀闸及相关设备的五防、间隔逻辑及有关电气联锁固化,确保联锁条件的正确无误。

(2) 对于程序化操作方式而言,应根据不同的运行方式拟定正确的操作步骤,并定期对程序化逻辑进行复查与审核。在对运行人员的技术或专题培训中,还应定期进行学习、演练,以提高值班人员的正确操作及应急处理事故能力。

(3) 内桥接线的停送电操作必须提前考虑全网系统的潮流走向及运行方式,对操作过程中可能存在的隐患和问题要及时分析,并汇报各省调部门,避免出现操作过程中站内设备的正常运行。

5 结 语

500 kV 变电站采用内桥接线方式具有一定的特殊性,从停送电操作方面对各方案的优劣进行了分析和比对,并综合实际情况对操作方案进行了合理优化,为变电站值班员的倒闸操作提供了一定辅助决策,切实提高变电站安全操作水平。

参考文献

[1] DL/T 572-2010 电力变压器运行规程[S].

[2] 王辑祥. 电力接线原理及运行[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.

作者简介:

庄秋月(1986),女,工程师,现从事电力系统变电运行管理工作;

李凡红(1984),男,工程师,现从事电力系统继电保护及控制方面的工作。

(收稿日期:2013-03-26)