

交流滤波器电容器不平衡保护在南方电网 直流输电系统中的应用

朱韬析¹, 王宁宁², 郭卫明¹, 何杰¹

(1. 南方电网超高压输电公司广州局, 广东 广州 510405; 2. 河南省电力公司信阳供电公司, 河南 信阳 464000)

摘要: 根据交流滤波器中电容器的常见接线方式和电容器损坏后的故障特征讲述了电容器不平衡保护的基本原理。对南方电网各直流输电工程中所实际采用的交流滤波器电容器不平衡保护的原理进行介绍, 如桥差过流保护、比值不平衡保护和不平衡计数保护。由于在实际运行中电容器不平衡保护曾多次误动, 结合实例重点分析了投入交流滤波器瞬间的涌流对保护的影响, 以及采用 POW 装置、合理设置保护配合的改进措施。

关键词: 直流输电; 交流滤波器; 电容器; 不平衡保护; 涌流

The application of the unbalance current protection for capacitor of AC filter used in the HVDC system of CSG

ZHU Tao-xi¹, WANG Ning-ning², GUO Wei-ming¹, HE Jie¹

(1. GZ Bureau, CSG EHV Power Transmission Company, Guangzhou 510405, China;

2. Xinyang Power Supply Company, Electric Power of Henan, Xinyang 464000, China)

Abstract: Based on the familiar configuration and the typical fault characteristics of the capacitor used in AC filters, the principle of the unbalance current protection for AC filter is introduced. The unbalance current protection for capacitor of AC filter used in the HVDC system of CSG is discussed. The influence on the unbalance current protection caused by the inrush current at the moment of putting into operation of the AC filters and the improving measurements such as adopting POW equipment and setting protection coordination reasonably have been analyzed combined with the actual examples. All of these are valuable to the design of the protection and the maintenance and operation.

Key words: HVDC; AC filter; capacitor; unbalance current protection; inrush current

中图分类号: TM71 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)20-0102-04

0 引言

直流输电具有传送功率大、线路造价低、控制性能好等优点, 是目前发达国家作为高电压、大容量、长距离送电和异步联网的重要手段^[1], 目前在我国得到了越来越广泛的应用。以南方电网为例, 目前已有天广、高肇和兴安直流输电系统投入运行, ± 800 kV 云广直流输电系统正在建设中, 而“十二五”期间, 还将新建溪洛渡右岸直流 ± 500 kV/2 \times 3 200 MW、糯扎渡直流 ± 800 kV/5 000 MW 工程。

交流滤波器是直流输电系统最重要的设备之一, 不仅可以提供换流所必需的无功, 还可以滤除谐波^[1-2]。然而, 交流滤波器所用的电容器故障率过高和电容器不平衡保护多次误动, 一直是困扰南方电网直流输电系统稳定运行的疑难问题之一, 对此,

运行维护单位重点研究了电容器损坏的主要原因并进行针对性的改造^[3]。

电容器不平衡保护是交流滤波器电容器的主保护, 其动作可靠性和灵敏性不仅直接影响设备的安全, 还关系到交直流输电系统的稳定运行。本文首先根据电容器的常见接线方式、电容器损坏后的故障特征讲述了电容器不平衡保护的基本原理, 接着以南方电网直流输电系统为例, 介绍了实际中所采用的电容器不平衡保护, 并说明了各种方法的优缺点, 最后还结合实例重点分析投入交流滤波器瞬间的涌流对保护的影响及改进措施。

1 交流滤波器电容器不平衡保护基本原理

高端的电容器是交流滤波器中最重要的组成部分, 它承受了大部分的母线电压^[4]。南方电网直

流输电系统中, 为了有效保护这些电容器, 采用了如图 1 所示的 H 桥接线方式: 把电容器分成 4 组大小相同的部分, 用 H 型接线连接起来, 正常情况下由于 4 组电容器的电容相同, 中间的桥接线上没有电流流过。

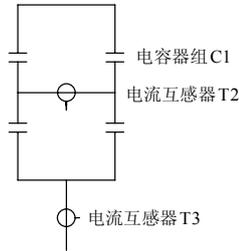


图 1 交流滤波器电容器组的 H 桥接线方式示意图

Fig.1 H bridge configuration of the capacitors for AC filter

交流滤波器高压电容的各个桥臂是由数量相同的若干台电容器串并联构成, 在每台电容器的内部又为若干只小电容元件串并联组成, 一般的配置中每个小电容元件均带有熔丝。如图 2 所示, 假若其中的一个元件 C_e 发生故障, 如绝缘介质被击穿, 则与之相并联的其他电容元件通过故障元件放电, 在 C_e 元件被击穿的瞬间, 向 C_e 元件迅速释放出足够大的电流, 以便迅速熔断与 C_e 元件串联的熔丝, 从而达到迅速开断故障的 C_e 元件的目的。

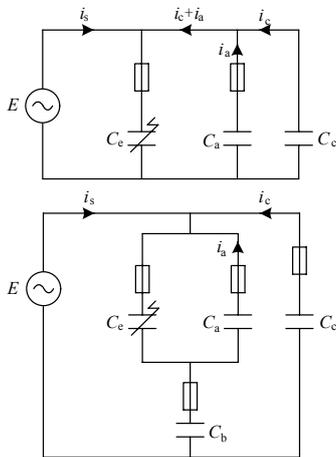


图 2 电容器内部单元故障示意图

Fig.2 Schematic diagram of the typical capacitor faults

其中: C_e 为击穿的电容元件; E 为电源; i_s 、 i_a 、 i_c 为图中所示相应回路的电流; 图 2 的回路 1 中, C_e 、 C_a 为与故障单元并联的完好电容; 图 2 的回路 2 中, C_a 为与故障单元并联的完好电容, C_b 为故障单元中与含有击穿元件的并联组件相串联的串联段等值电容, C_c 为与 C_e 、 C_a 、 C_b 所构成的电容器组回路相并

联的等值电容。

内部熔丝是电容器元件的初级保护, 如果一只电容器内部同一并联组件有多个元件损坏, 则剩余的完好的电容器元件将承受更高电压, 从而缩短寿命, 甚至引起雪崩效应^[4]。

当一个桥臂电容器元件发生损坏时, 损坏电容器元件所在桥臂电容值发生变化, 原本 4 个桥臂电流平衡的状态被破坏, 图 1 中的 T2 电流互感器将测量到不平衡电流, 利用这一不平衡电流, 判断电容器组的运行情况, 当电容器故障情况达到一定的程度后, 启动保护发出告警信号或跳闸, 这便是电容器不平衡保护的基本原理。

2 常用的电容器不平衡保护方法^[4-6]

2.1 电容器桥差过流保护

显然, 根据交流滤波器电容器的 H 型接线方式, 如果某个电容器单元中的元件击穿或熔丝熔断, 该桥臂的电容将发生变化, 导致桥中流过不平衡电流。因此, 通过监视如图 1 中电流互感器 T2 流过的电流, 便可以判断电容器的运行情况。

但是, 由于电容器的制造工艺不可能完全一致, 正常运行情况下, 图 1 中电流互感器 T2 也将流过一定的不平衡电流, 为了避免对保护功能造成影响, 需要对不平衡电流进行补偿。

南方电网 ± 800 kV 云广直流输电系统中, 交流滤波器电容器桥差过流保护便采用了这样的补偿方式:

在交流滤波器投运或在更换电容器后第一次充电时, 投入“电容不平衡电流校正”软压板, 这时, 保护装置将记录当前的不平衡电流作为调整参数; 在随后的计算中, 电容器桥差过流保护将用采样所得的不平衡电流减去所记录的调整参数作为校正后的不平衡电流, 当校正后的不平衡电流大于设定的门槛值时, 退出相应交流滤波器。

虽然采用上述补偿原理的电容器桥差过流保护有效消除稳态运行时不平衡电流对保护的影响, 提高了电容器不平衡保护的准确性, 但是, 由于仅采用不平衡电流这一特征量, 桥差过流保护容易受到其他因素的干扰: 如换流站近区交流系统故障时、直流系统输送功率变化、电容器的电容值受到外部环境参数如温度变化的影响时, 都有可能引起不平衡电流的变化, 因此, 为了防止桥差过流保护的误动, 往往需要牺牲其动作精度^[5]。在 ± 800 kV 云广直流输电系统中, 桥差过流保护设计为后备保护。

2.2 电容器比值不平衡保护

由于一个桥臂发生电容器故障后，不平衡电流与穿越电流的比值仅与故障元件的个数及原有电容器元件的串并联方式相关。因此，可以采用不平衡保护电流与穿越电流的比值作为保护判据：根据单一元件耐受过电压水平，确定电容器组可承受的损坏元件的个数，然后通过损坏元件个数确定比值作为保护动作定值，并根据相应元件在该过电压水平下的耐受时间确定保护动作延时。这样可以保证定值的设定不受交直流系统状态改变引起穿越电流变化的影响，确保不平衡保护在各种工况下均能准确动作^[5]。±800 kV 云广直流输电系统中，便采用电容器比值不平衡保护作为交流滤波器电容器的主保护。

同样，电容器比值不平衡保护在进行计算、比较之前，也采用了与文2.1节所述的同样方法，对电容器不平衡电流进行校正。

2.3 电容器不平衡计数保护

电容器比值不平衡保护和桥差过流保护的原理都是基于同一个桥臂上的电容器发生故障，而实际中，电容器故障很可能相继出现在各个桥臂，这种情况下，如图 1 所示的 T2 电流互感器中可能并不会流过太大的不平衡电流，所以上文所述的电容器比值不平衡保护和桥差过流保护很可能无法检测到故障，这将对电容器的安全造成极大的威胁。针对这一问题，天广、高肇、兴安直流输电系统中，均采用了电容器不平衡计数保护作为交流滤波器电容器的主保护。

以图1为例，监视 $\Delta \frac{I_{T2}}{I_{T3}}$ (I_{T2} 和 I_{T3} 分别为流过图

1内电流互感器 T_2 、 T_3 的电流)，如果 $\Delta \frac{I_{T2}}{I_{T3}}$ 大于门槛值，则判断这一瞬间，左（右）桥臂中某电容器损坏，分支计数器和总计数器均加1；如果 $-\Delta \frac{I_{T2}}{I_{T3}}$ 小于门槛值，则判断这一瞬间，右（左）桥臂中某电容器损坏，分支计数器减1，总计数器加1；当分支计数器或总计数器达到设定值，启动相应保护动作。计数器的动作设定值，根据实际可承受的最大电容器损坏数量来确定。

3 交流滤波器投入瞬间的涌流对电容器不平衡保护的影响

电容器投入瞬间会产生较大涌流^[6]，此时，电

容器不平衡电流将随着穿越电流的增大而增大，如果不采取相应措施，很可能造成不平衡保护误动。

图 3 所示为南方电网某直流输电系统中，某交流滤波器投入瞬间的电容器不平衡电流录波，根据录波，该交流滤波器投入瞬间，由于涌流的影响，其电容器组的不平衡电流峰值甚至超过正常值数十倍。

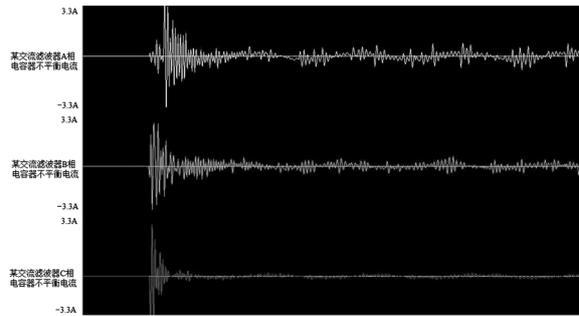


图 3 交流滤波器投入瞬间电容器组的不平衡电流

Fig.3 The unbalanced current occurred at the moment of put into operation of the AC filter

图 4 所示为同图 3 所示的同一交流滤波器，在其他交流滤波器投入瞬间所产生的电容器不平衡电流录波，根据录波，其他交流滤波器投入瞬间，由于涌流的影响，该电容器组的不平衡电流峰值仍会超过正常值近十倍。

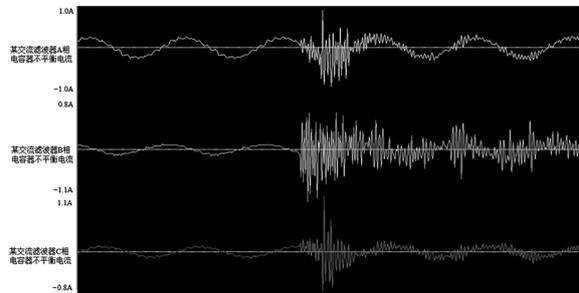


图 4 其他交流滤波器投入瞬间某运行中电容器组的不平衡电流

Fig.4 The unbalanced current occurred at the moment of put into operation of other AC filters

2009 年 5 月，南方电网某直流输电系统中某交流滤波器在本交流滤波器组及其他交流滤波器组投入瞬间，电容器不平衡保护计数器接连动作，最终达到动作次数，退出了该交流滤波器。

对此，一方面可以在定值整定时充分考虑暂态过程的影响，通过延时躲过充、放电的暂态过程；另一方面，可以采用合闸控制装置，尽量减少投入交流滤波器瞬间的涌流。

图 5 便为±800 kV 云广直流输电系统中, 采用了合闸控制装置 POW 的交流滤波器投入瞬间时的录波。

显然, 采用 POW 装置后, 在母线相应相电压的过零时刻投入交流滤波器, 这时在本小组交流滤波器及其他在运行的小组交流滤波器上产生的涌流相对都小了很多, 几乎不会对设备和保护造成影响。

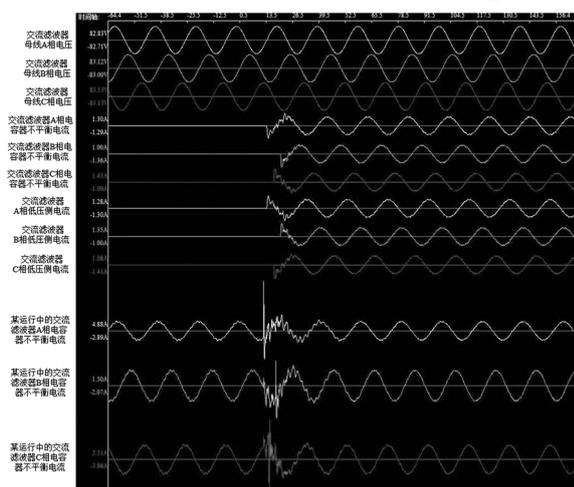


图 5 采用 POW 装置后投入交流滤波器瞬间的涌流

Fig.5 The unbalanced current occurred at the moment of put into operation of the AC filter with the POW

4 结语

电容器不平衡保护是直流输电系统中交流滤波器的重要保护, 但运行经验表明, 该保护动作正确率偏低。

本文介绍了南方电网直流输电系统交流滤波器电容器不平衡保护的应用情况, 指出桥差过流保护和电容器比值不平衡保护均无法反映不同桥臂电容器的故障情况, 并结合实例说明电容器不平衡计数保护容易受到外界因素(尤其是交流滤波器投入瞬间的涌流)的干扰; 不过, 采用 POW 装置后, 交流滤波器投入瞬间的涌流状况可以得到有效控制。因此, 建议对交流滤波器均配置 POW 装置, 并采用电容器不平衡计数保护作为主保护, 同时配置电容器比

值不平衡保护和桥差过流保护作为后备保护。

参考文献

- [1] 浙江大学发电教研组直流输电教研组. 直流输电[M]. 北京: 水利电力出版社, 1985
- [2] 赵畹君. 高压直流输电工程技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004: 218-219.
- [3] 段卫国, 魏俊杰, 陆岩. 天广直流并联电容器损坏原因及改进措施[C]. //中国南方电网公司第三届电网技术论坛.
- [4] 文继锋, 陈松林, 李海英, 等. 交流滤波器保护配置和实现[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(2): 109-112. WEN Ji-feng, CHEN Song-lin, LI Hai-ying, et al. Configuration and application of AC filter protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(2): 109-112.
- [5] 余江, 周红阳, 赵曼勇. 高压电容器不平衡保护的相关问题[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(13): 85-89. YU Jiang, ZHOU Hong-yang, ZHAO Man-yong. Related problems of unbalance protection for high voltage capacitor[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(13): 85-89.
- [6] 吴娅妮, 吕鹏飞, 王德林, 等. 交流滤波器高压电容器不平衡保护新原理[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(24): 56-59. WU Ya-ni, Lü Peng-fei, WANG De-li, et al. New principle of unbalance current protection for capacitor of AC filter[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(24): 56-59.
- [7] 徐国政, 等. 高压断路器原理和应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.

收稿日期: 2009-07-08

作者简介:

朱韬析(1980-), 男, 工程师, 目前从事直流输电维护工作; E-mail: taoxi_zhu@hotmail.com

王宁宁(1982-), 男, 从事继电保护工作;

郭卫明(1980-), 男, 工程师, 目前从事直流输电维护工作。