

一起非典型滤波电容器事故分析

高鹏¹, 于旭东²

(1.南京南瑞继保电气有限公司,江苏南京 211102; 2.大全集团有限公司,江苏扬中 212211)

摘要:滤波器是电力系统的重要无功补偿和滤波设备,故积累相关的运行分析和事故处理案例,提高事故处理与运行维护能力,具有重要的意义。基于继电保护故障录波数据,对一起非典型的电力滤波电容器事故进行了过程分析和计算。并基于PSCAD/EMTDC和实际系统的电气参数搭建了暂态仿真模型,对事故过程的分析结论进行仿真模拟验证。仿真的轨迹和数据与实际暂态故障录波的数据特征基本一致,从而验证了文中事故分析的有效性和正确性。最后对该事故案例的整改和运行维护提出了建设性的建议。

关键词:电力电容器; 滤波器; 事故分析; 过电流; 跳闸; PSCAD/EMTDC

中图分类号:TM862; TM531.4

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2016)02-0089-04

无功功率补偿时,要根据负荷特性选择合理的补偿方案。目前变电站主流的无功补偿设备有电容器、滤波器和动态无功补偿 SVC 或 SVG 等^[1-7]。随着电力和工农业的发展,电力公司为改善功率因数而大量使用电力电容器或滤波器组等无功补偿设备,以期实现无功的分片分区平衡,提高功率因数,降低线路损耗和电压降落,提高电力运行效率。对于可产生谐波的负荷则既需要无功就地补偿,也需要滤除谐波,提高综合电能质量。此时就要采取滤波器去提供无功补偿和滤除谐波的双层功能。

本文通过对一起滤波电容器组的非典型烧毁事故过程的描述,对故障录波数据进行分析推断,并基于电磁暂态仿真工具 PSCAD/EMTDC 和实际参数搭建仿真模型对事故过程推断进行了仿真分析与验证。仿真发现,仿真数据轨迹与数值基本与继电保护中的故障录波轨迹与大小一致,从而验证了故障分析和结论的有效性和正确性。

1 事故过程

某国某不锈钢厂 35 kV 升压站内设有 3 组无功补偿滤波器组,分别为 3 次、4 次和 5 次滤波器支路,每个滤波器支路和 35 kV 断路器皆配置过流保护,主接线如图 1 所示。

对于该段母线的 5 次滤波器 LC 支路,每相的串联电感值均为 73.2 mH,对应工频感抗约为 23 Ω,电抗器串联 4 只串联电容器,每只电容器的型号皆为 AAMr6.8-334-1W。

某日由于钢厂运转负荷较低,运行人员仅投入 3 组滤波器中的 5 次滤波器补偿负荷无功,其他 2 组停运。当日小雨,5 次滤波器发生了一次过流跳闸事故。运行人员去现场检查后,发现滤波器组表面无异样,

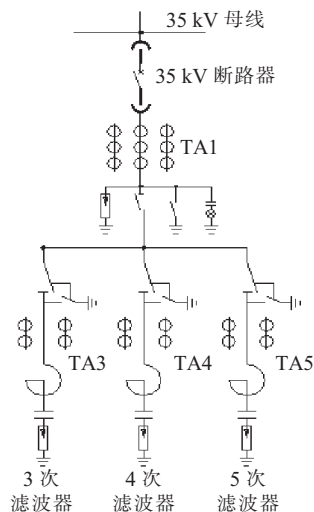


图1 滤波器补偿主接线图

以为是雨水导致,没有做细致检查和设备参数测试,继续投运该 5 次滤波器。约几分钟后该 5 次滤波器组再次过流跳闸,同时现场发现电容器组有明火,5 次滤波器支路发生爆炸烧毁事故。同时,电容器靠近中心一侧发现由拉弧放电导致的电容器箱体烧损、绝缘子烤焦或爆炸。电容器箱体烧损和电容器电极绝缘子烤焦或爆炸的现场图片分别如图 2 和图 3 所示。



图2 电容器箱体烧毁照片



图 3 电容器绝缘子电极烧毁照片

该 A/B/C 三相电容器组三组一字排列设计,每相安装 4 台电容器组,结构为一并四串,单星型连接,并由 35 kV 绝缘子支撑。5 次滤波器支路距离该不锈钢厂炼炉烟囱最近,现场运行环境恶劣,铁矿石粉尘在电容器表面、套管、组架表面皆有粉尘积垢。因此初步分析,由于设备表面污秽导致电容器电极对绝缘子表面爬电并拉弧(现场电容表面有拉弧痕迹),电容器故障过流而导致保护设备跳闸。

2 事故分析

2.1 第一次过流跳闸事故分析

为分析事故,调取第一次过流跳闸的开关柜保护录波,电压和电流的波形分别如图 4 和图 5 所示,其中 TA 变比为 200 A/5 A。

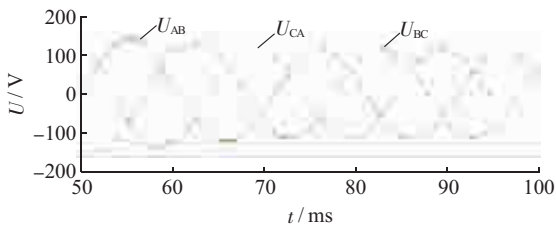


图 4 35 kV 母线电压波形

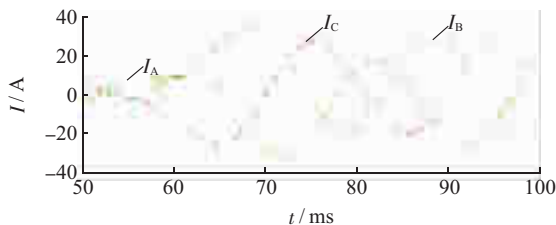


图 5 开关柜电流波形

在开关跳闸前,电流波形的相位是滞后电压的,滤波支路整体对工频呈感性,且三相电流呈现 50 Hz 工频正弦特性。电流的峰值取 25 A 左右,则折算至一次侧电流的有效值约为 707 A。故障期间,图中二次线电压的幅值约为 116 V 左右,配置的 TV 变比为 35 kV/100 V,则线电压约为 28.7 kV。可计算出故障期间每相的阻抗值约为 23.4 Ω。且可见开关跳闸前该支路阻抗值与串联电抗器的基波感抗值基本一致。

经现场考察,现场施工队将电容器组的等电位线在 3/4 处连接于电容器支架,电容器连接线示意图如图 6 所示。由于现场污秽严重且有拉弧放电迹象,可推断,当串联电抗器的出线对框架放电或与电抗器相连的第一个电容器进线套管与外壳污闪放电时,都相当于每相前 3 个电容器被短接。最后 1 个电容器将承受较高的电压而被击穿,造成电极与外壳短路。于是所有三相串联电抗器通过电容器的中性线短接,故呈现出只有电抗器的特征。

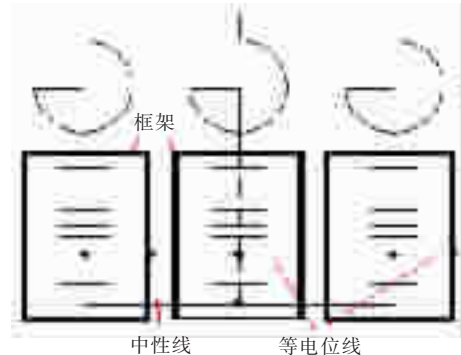
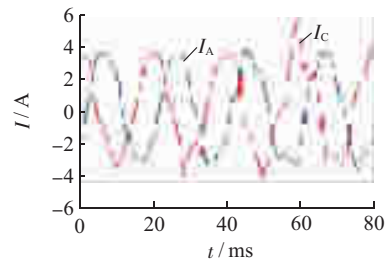


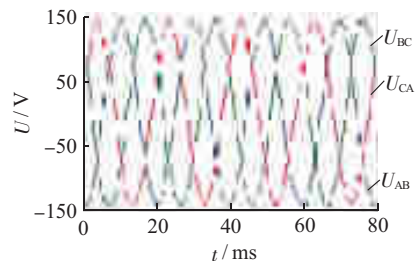
图 6 三相电容器连接示意图

2.2 第二次过流跳闸事故分析

第二次跳闸事故时,5 次滤波器本体 TA 录波如图 7 所示。TA 变比为 100 A/5 A。为控制建设成本,滤波器本体 TA 仅配置 A,C 两相。A 相、C 相电流的幅值大致在 3.5 A 左右,且电流超前电压,呈容性。线电压的幅值在 138 V 左右。将电流和电压折算到一次,一次电流有效值为 49.5 A;一次线电压有效值为 34.15 kV。根据实测电压和电流,基波每相阻抗值约为 398.4 Ω。在滤波器的 LC 回路中,如果将每相的最后一个电容器短接,则每相由电抗器和 3 个串联电容器组成。理论上计算出其回路的等值基波阻抗约为 392.3 Ω,与实测值比较接近。



(a) 电流



(b) 电压

图 7 5 次滤波器故障电流和电压波形

基于事件过程可推断,对第二次故障,投入该组滤波器时,滤波器每相串联电容器组的最后一个电容器已被击穿。在投入的时间内,最后一个电容器因击穿短路,且短路部分完全流约 50 A 的电流,导致电容器局部过热起火。

3 仿真与分析

为验证以上故障分析的正确性与有效性,基于仿真软件 PSCAD/EMTDC 和实际设备参数搭建等值单机系统仿真模型。其中,5 次滤波器的仿真模型如图 8 所示。

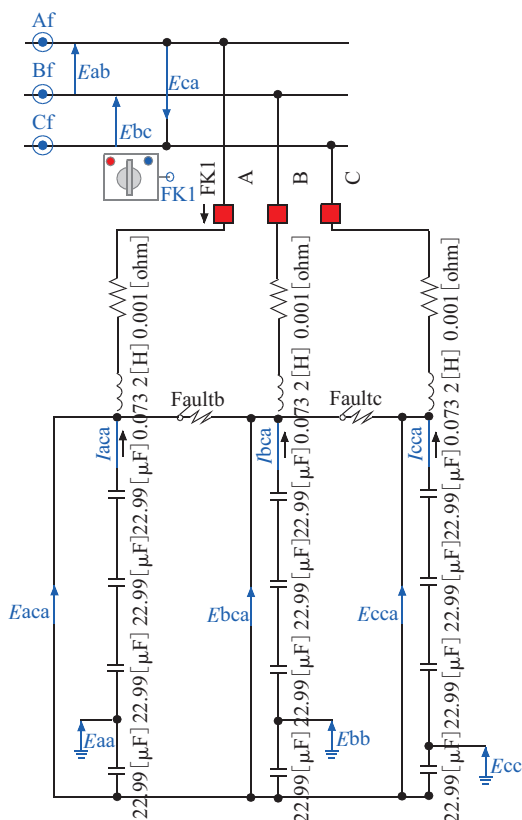


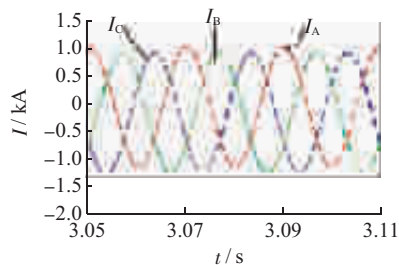
图 8 仿真分析模型图

3.1 第一次过流事故仿真

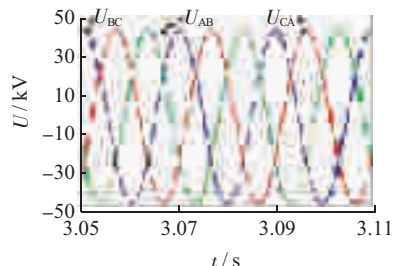
将 3 个串联电抗器的出线端短接,相当于将三相电容器组突然短接。仿真电压电流轨迹波形如图 9 所示。故障电流峰值约 1090 A,而实测故障电流有效值为 707 A,等效峰值为 1000 A,2 者基本一致。差别主要因仿真采用的是直接短路,而实际为经电弧短路,导致仿真电流偏高。同时,仿真电流波形相位滞后于线电压,与实测波形基本一致。

3.2 第二次过流事故仿真

将每相的最后一个电容器短接,则每相由 1 个电抗器和 3 个串联电容器组成,仿真电流轨迹如图 10 所示。仿真电流幅值在 72.9 A 左右,折算有效值约 51.5 A,这与实测的 49.5 A 很接近。仿真和理论推断的结果基本一致。



(a) 电流曲线



(b) 电压曲线

图 9 仿真电压电流轨迹图

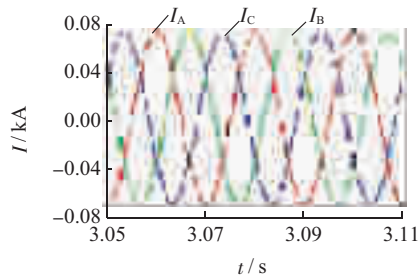


图 10 仿真电流轨迹图

4 结束语

故有必要积累相关的运行分析数据和事故处理案例,以提高事故分析处理与运行维护能力。

文中介绍了一起滤波电容器组的事故分析与处理建议。该事故第一次短路故障时,因串联电容器组的第一个电容器套管对其外壳污闪放电,造成电容器组进线端与外框之间间歇性放电,最后一个电容器因与电抗器进线端直接电气相连,过电压而被击穿。第一次故障跳闸,虽电容器表面无异常,但最后一个电容器内部已被击穿,故第二次投入该滤波器时,最后一个电容器因已被击穿而导致局部过热起火并殃及临近设备。其他 3 个串联电容也因过压而受损。基于 PSCAD/EMTDC 和实际系统的参数搭建了暂态仿真模型,对事故发生过程的分析进行仿真模拟验证。仿真轨迹和数值基本与实际暂态故障录波一致,从而验证了文中事故分析的有效性和正确性。

从设备运行维护角度,针对该事故,建议将电容器组的钳位电极线改接到 1/2 位置,从而使电容器组的整体电位分布更合理。并加强对设备的巡视,缩短清扫间隔,减少污秽放电事故的概率。该事故启示,对类似事故,当发生过流跳闸等故障,虽设备表面无异常,也

要经过基本的电气测量确认电气参数无异后,方可继续投运设备,防止造成事故扩大。电力电容器和滤波器是实现电力无功补偿的主要电气设备,不仅可以补偿无功功率,提高系统的功率因数,降低系统损耗,且能够调节系统运行电压,对电网安全经济运行具有重要的意义。

参考文献:

- [1] 王 东. 电容器运行常见问题分析与对策[J]. 江苏电机工程, 2008, 27(4): 51-53.
- [2] 高 鹏, 许园园. 关于 SVC 水冷却系统的技术浅析[J]. 东北电力技术, 2013, 34(12): 20-23.
- [3] 张建国, 牟晓春, 李 阳. 静止同步补偿器偏磁控制方法[J]. 江苏电机工程, 2015, 34(3): 34-36.

- [4] 田友元. 高电压集合式并联电容器的设计问题[J]. 东北电力技术, 1997, 18(7): 12-16.
- [5] 吴 杰, 刘晓芹. 电力电容器暂时过电压事故分析[J]. 电力电容器, 2003, 24(4): 18-19.
- [6] 李兴唐. 利用氧化锌避雷器保护并联电容器组的过电压[J]. 东北电力技术, 1998, 19(1): 12-18.
- [7] 李丽君, 刘汝峰, 张 斌. 并联电容器检查试验注意事项研究[J]. 东北电力技术, 2013, 34(6): 26-28.

作者简介:

高 鹏(1980), 男, 江苏徐州人, 高级工程师, 从事电力系统分析和电力电子技术应用的研究与工程应用工作;

于旭东(1985), 男, 江苏镇江人, 工程师, 从事电力系统分析和输配电设计的研究与工程应用工作。

An Atypical Filter Ccapacitor Accident Analysis

GAO Peng¹, YU Xudong²

(1. Nanjing Nari-Relays Electric Co. Ltd., Nanjing 211102, China; 2. DAQO Group Co. Ltd., Yangzhong 212211, China)

Abstract: Filter is one of the most important reactive compensation and harmonic filtering equipment in power system. So it is very important to accumulate experience of its operation, accident analysis and maintenance. Based on the actual transient fault record waveforms of protection devices, the analysis and calculation for an atypical power filter capacitor accident is given in the paper. The simulation model for verification is built in the electromagnetic simulation tool of PSCAD/EMTDC using the actual system primary equipment parameters. The analysis and studies for this accident case are verified by the corresponding transient simulation and calculation. The simulation curves and data are almost the same with those in the actual transient fault recorded by the protection devices. Hence, the effectiveness and correctness of the analysis progress are verified and confirmed. Finally, some constructive suggestions on rectification and maintenance for this accident case are given.

Key words: power capacitor; filter; accident analysis; over-current; trip; PSCAD/EMTDC

(上接第 88 页)

路会引起励磁电流增加, 磁场波形畸变, 装设可靠的转子线圈短路在线监测应为未来的趋势。

参考文献:

- [1] 马宏忠, 李之昆, 彭 钱. GP 法在发电机转子绕组匝间短路诊断中的应用[J]. 继电器, 2004, 32(22): 16-19, 28.
- [2] 李伟清. 汽轮发电机故障检查分析及预防[M]. 2 版. 北京: 中国电力出版社, 2010: 93.
- [3] 唐芳轩, 傅 煜. 隐极同步发电机转子匝间短路的分布电压诊断法[J]. 高压电器, 2005, 02(41): 72-75.

- [4] 彭发东, 张征平, 陈杰华, 等. 大型汽轮发电机转子匝间短路故障的分析与诊断[J]. 大电机技术, 2010 (6): 17-19.
- [5] 陈华桂, 秦慧敏, 戴兴干. 660 MW 汽轮机轴瓦温度异常的分析与处理[J]. 江苏电机工程, 2014, 33(2): 75-78.
- [6] DL/T 596—1996 电力设备预防性试验规程[S].

作者简介:

黄松涛(1963), 男, 江苏南京人, 工程师, 从事发电机和励磁专业工作。

Analysis and Treatment of a Generator Rotor Turn-to-turn Short Fault

HUANG Songtao

(Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China)

Abstract: Analysis and processing of turn-to-turn short fault of a 390H generator rotor is presented in this paper. The vibration inspection and electrical tests are carried out. According to the results of the inspection and test, the conclusion of rotor turn-to-turn short fault is conducted. Through the disintegration analysis, the fault reason is obtained as deviation of turn-to-turn insulation of rotor. The corresponding treatment of turn-to-turn short fault of generator rotor is also introduced.

Key words: rotor turn-to-turn short; AC impedance; turn-to-turn insulation; deviation