

# 云广直流系统交流滤波器保护误动作分析及改进措施

罗宇航<sup>1</sup>, 张振华<sup>2</sup>, 张文<sup>1</sup>, 郝志杰<sup>1</sup>

(1. 南方电网超高压输电公司广州局, 广东 广州 510405; 2. 许继日立公司, 河南 许昌 461000)

**摘要:** 针对云广直流输电工程中多次出现的交流滤波器保护跳闸事故, 根据保护装置硬件原理分析说明了保护动作行为不一致的根本原因。在对故障录波进行分析的基础上, 指出在延时整定方面, 延时时间与保护装置动作时间存在差异, 提出了相应的改进措施, 并利用 RTDS 数字仿真系统进行仿真试验和现场故障录波回放试验。试验结果表明, 改进后的保护可以有效避免冲击电流造成的保护误动。

**关键词:** 电阻基波过流保护; 冲击电流; 延时补偿; RTDS

## Analysis on mal-operation of AC filter protection and its improvement measure in Yun-Guang HVDC transmission system

LUO Yu-hang<sup>1</sup>, ZHANG Zhen-hua<sup>2</sup>, ZHANG Wen<sup>1</sup>, HAO Zhi-jie<sup>1</sup>

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

2. XJ Hitachi Company Ltd, Xuchang 461000, China)

**Abstract:** Aiming at the frequent AC filter protection trip in Yun-Guang HVDC transmission system, the root cause of inconsistent protection operation is analyzed according to the hardware configuration of protection device. Based on analyzing the data of transient fault recorder, it is found that there is difference between delay time and protection device operation time in the aspect of delay-setting. Improvement measure on time delay is proposed and simulation experiment and on-spot fault recorder playback experiment are made on RTDS. The simulation results show that the improved protection can avoid the mal-operation caused by impact current effectively.

**Key words:** resistor fundamental wave over-current protection; impact current; time-delay compensation; RTDS

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2011)03-0137-04

## 0 引言

2009年9月以来,云广直流逆变侧双调谐交流滤波器(DT 11/24)运行中多次发生电阻基波过流保护异常动作跳闸、且两套冗余保护系统动作行为不一致的事故。这既干扰了直流系统的正常运行,严重危害了交流高压开关、高压电容器等设备的安全,也给现场维护人员带来很大困惑。

本文根据云广直流逆变侧现场运行过程中交流滤波器保护的几起异常、跳闸事故,分析了保护动作行为不一致的原因及保护装置在延时方面的问题,提出保护延时改进措施,同时在RTDS上进行了仿真试验和故障录波回放试验。

## 1 交流滤波器保护简介及运行实例

### 1.1 电阻基波过流保护的原理及配置

云广直流逆变侧交流滤波器保护功能通过数字式多微处理器系统SDR-101A继电器装置实现<sup>[1]</sup>。各种类型的交流滤波器小组保护配置相同,每一小组由两套保护系统构成冗余配置,两套系统在物理和电气上完全独立。

为了保护交流滤波器组中的电阻元件,防止交流滤波器过电流损坏,交流滤波器保护中配置有电阻基波过流保护<sup>[2]</sup>。当电阻上流过较大电流并持续达整定延时后,该保护动作出口,跳开交流滤波器。

电阻基波过流保护的判据为“ $I > I_{set}$ ”,其中 $I$ 为经全周傅里叶算法计算得到的电阻基波电流<sup>[3-4]</sup>。云广直流逆变侧电阻基波过流保护过流3段的延时整定为50ms。

### 1.2 运行实例

2009年9月30日,直流系统功率由700MW调整至1000MW过程中,573交流滤波器电阻基

波过流 3 段保护动作跳闸。573 交流滤波器小组保护系统仅系统 1 出口跳闸；系统 2 无动作信号，也未出口。

2009 年 10 月 13 日，功率调整中投入 593 交流滤波器，SER 显示 593 保护系统 1 电阻基波过流 3 段保护动作跳闸信号，但 593 交流滤波器实际未跳开；593 保护系统 2 无动作信号。

2009 年 11 月 10 日，直流系统运行过程中发生网侧扰动，573 交流滤波器保护系统 1 电阻基波过流 3 段保护动作跳闸。573 交流滤波器小组保护系统仅系统 1 出口跳闸；系统 2 无动作信号，也未出口。

## 2 事故分析

### 2.1 保护动作行为分析

SDR-101A 继电保护装置采用双 CPU 插件<sup>[5]</sup>，其硬件原理简图如图 1 所示。

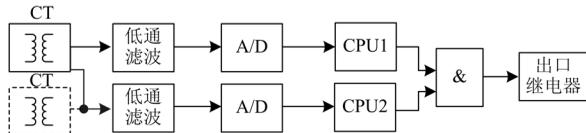


图 1 SDR-101A 保护装置硬件原理简图

Fig.1 Hardware configuration of SDR-101A

由图 1 可见，装置有两个完全冗余的 CPU，保护判据由两个 CPU 独立计算、判断，两个 CPU 采用“与”门的出口方式。

上述异常、事故发生后，读取保护装置内故障录波。保护装置内各 CPU 动作情况如表 1。

表 1 保护装置 CPU 动作情况

Tab.1 Action of CPUs in protection device

滤波器	573	593	573
动作时间	9 月 30 日	10 月 13 日	11 月 10 日
跳闸	是	否	是
系统 1	CPU1、CPU2	CPU1	CPU1、CPU2
系统 2	CPU2	CPU2	CPU2
动作保护	系统 1	--	系统 1

由表 1 可以看出，9 月 30 日及 11 月 10 日 573 交流滤波器的两次跳闸中，保护系统 1 两个 CPU 均动作，系统 1 出口跳闸；保护系统 2 只有 CPU2 动作，不满足“与”门出口条件，故系统 2 不会出口跳闸。10 月 13 日 593 交流滤波器因两套系统各只有一个 CPU 动作，故均未出口。

### 2.2 故障录波分析

根据以上分析，可以确定保护动作行为的不同是由于 CPU 动作的差异所致。导致 CPU 出现动作差

异的原因分析如下。

由于交流滤波器中大量电容器件的充放电过程，在直流系统和交流系统的各种特殊工况下，如投切滤波器、直流功率调整、电网扰动等，会导致交流滤波器上流过较大的冲击电流<sup>[6-7]</sup>。图 2 和图 3 是 9 月 30 日功率调整期间 573 交流滤波器跳闸时，573 交流滤波器保护系统 1 内 CPU1 和 CPU2 所记录的电阻电流波形。

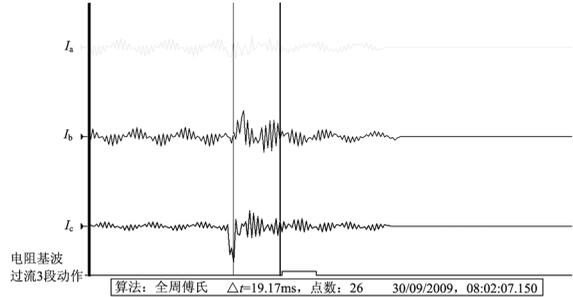


图 2 573 保护系统 1 中 CPU1 电阻电流故障录波

Fig.2 Resistor current fault recording of CPU1 in 573 ACF

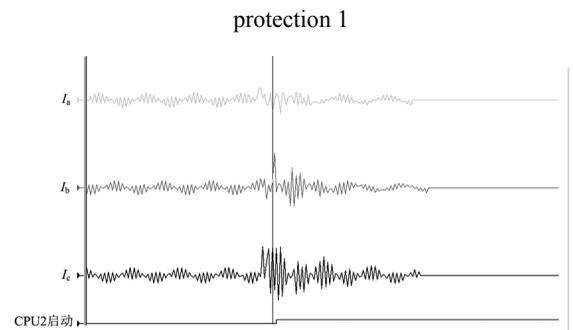


图 3 573 保护系统 1 中 CPU2 电阻电流故障录波

Fig.3 Resistor current fault recording of CPU2 in 573 ACF

对比图 2 和图 3 可见，功率调整时滤波器流过较大的瞬时性冲击电流，而同一套保护系统的两个 CPU 对冲击电流的录波波形相差较大。

由图 1 可知，SDR-101A 装置的两个 CPU 各自有独立的采样、A/D 转换模块。由于两个 CPU 之间没有采样同步信号，因而采样的时刻并不完全一致；在有冲击电流的暂态过程中，由于冲击电流的变化率很大，CPU 之间微小的采样时差会引起较大的数据偏差，出现图 2 和图 3 之间波形上的差异。采样数据的差异直接导致全周傅氏算法的计算结果不同。

由于暂态冲击电流的作用，同一保护系统内的两个 CPU 感受到不同的采样值，导致计算结果存在偏差。若其中一个 CPU 计算结果未达到动作值，则该 CPU 不会动作。可以断定，这就是表 1 所示 CPU 动作不一致的原因所在。

### 3 存在问题及措施

#### 3.1 存在问题

通过以上分析可知,冲击电流是导致保护动作特性不一致的根本原因。而滤波器在正常运行期间,对于如功率调整、滤波器投切等正常操作造成的瞬时性冲击应能可靠躲过,不应出现保护动作。那么为什么在实际系统中会出现保护动作出口的情况呢?

由图2可见,电阻电流  $I_c$  在达到动作定值 0.24 A 后,仅延时 19.17 ms 便置动作标志位,而电阻基波过流 3 段延时整定值为 50 ms。实际的动作标志置位时间与延时整定值不一致。

造成动作标志置位时间与延时整定值不同的原因是:保护装置从判断故障发生到继电器动作出口,其中包括了数据窗计算时间、保护逻辑判断时间、延时整定时间和继电器固有动作时间。考虑到以上几点,若按定值单的延时整定时间来置位动作标志,保护装置的实际行动时间总会大于保护的延时整定时间。特别对于短延时保护,时间偏差的相对值将会较大。

为降低时间偏差,保护装置生产家在延时整定值中减去一个固定时间作为延时补偿,使保护的实际行动时间与延时整定值相一致。

云广直流逆变侧 SDR-101A 系列小组滤波器保护针对延时整定值为 50 ms 的电阻基波过流 3 段保护进行了 30 ms 的延时补偿,因此保护动作标志置位时间为  $50-30=20$  ms。这与图 2 所示 19.17 ms 的动作时间基本一致。

由此可见,造成交流滤波器保护多次跳闸的原因是:调整功率、滤波器组投切时,滤波器上流过的冲击电流超过电阻基波 3 段定值,而由于保护内部设置延时补偿,导致实际延时置位较短未躲过冲击,保护出口跳闸。

#### 3.2 解决措施

从图 2、图 3 可知,冲击电流为瞬时性,持续时间仅为 20~30 ms。若保护延时能按照延时整定值 50 ms 执行,则完全可以可靠躲过冲击电流,避免冲击所致的误动。针对以上情况对软件进行修改。其保护范围、动作定值均未改变,与原有保护的区别在于:取消电阻基波过流 3 段保护内原有的 30 ms 延时补偿,使实际动作标志置位时间等于延时整定值 50 ms。

### 4 RTDS 实时仿真试验分析

为了验证改进后的电阻基波过流 3 段保护能有效避免功率调整、滤波器组投切时的误动,在国家

继电保护及自动化设备质量监督检验中心进行了多项 RTDS 仿真试验。

#### 4.1 RTDS 数据回放仿真结果

将几次异常、事故的数据波形通过 RTDS 进行回放,试验结果如表 2 所示。

表 2 RTDS 数据回放结果

回放数据	原基波过流 3 段	新基波过流 3 段保
	保护行为	护行为
2009 年 09 月 30 日 573 交流滤波器数据	误动作	不动作
2009 年 10 月 13 日 593 交流滤波器数据	误动作	不动作
2009 年 11 月 10 日 573 交流滤波器数据	误动作	不动作

#### 4.2 RTDS 数字仿真结果

利用 RTDS 实时仿真系统模拟升降直流功率试验。试验结果显示,在直流功率上升过程中,其他交流滤波器的投入会使被保护对象流过较大的冲击电流,且达到电阻基波过流 3 段动作定值。此时原保护程序有误动现象,新保护程序可靠不动。RTDS 仿真波形如图 4 所示。

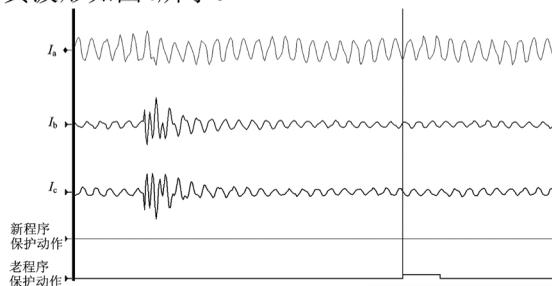


图 4 直升降功率过程中保护动作情况 RTDS 仿真结果  
Fig.4 The simulation result on RTDS of protection's behavior during power elevation

RTDS 模拟投切滤波器组试验的结果同样显示,在交流滤波器投入时产生的冲击电流会导致原保护程序误动,而新保护程序可靠不动。RTDS 仿真波形如图 5 所示。

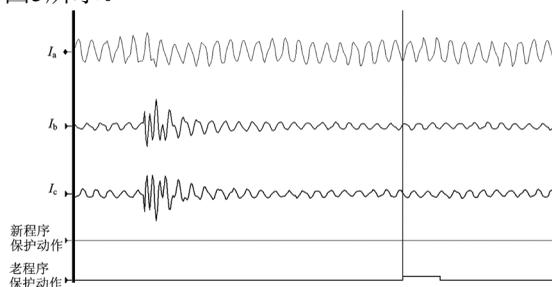


图 5 滤波器投入过程中保护动作情况 RTDS 仿真结果  
Fig.5 The simulation result on RTDS of protection's behavior during ACF switching on

### 4.3 仿真结果分析

由以上RTDS仿真试验结果可知,直流功率升降、滤波器组投切过程中,的确会产生冲击电流。该电流的特点是数值较大、持续时间较短,在设计及整定保护装置时,应充分考虑设定合理的延时以躲过瞬时性冲击。波形数据回放和数字仿真的实验结果均表明,修改后的保护能够可靠避免冲击电流导致的保护误动。

## 5 结论

保护生产厂家依据《继电保护和安全自动装置基本试验方法》检测保护动作时间,而保护装置本身存在固有动作时间。对于短延时保护,装置的固有动作时间会导致保护动作时间与整定时间之间相对偏差较大。考虑到延时整定的精度,保护厂家在延时整定值中减去固定时间作为延时补偿。云广直流逆变侧功率调整、滤波器投切时保护多次异常跳闸,原因在于设置延时补偿后,短延时保护置位时间较短,未能有效躲过冲击电流所致。

本文在分析保护的動作行为的基础上,指出延时时间与保护装置动作时间存在差异,并提出延时改进措施,进而利用RTDS数字仿真系统进行了数据回放,并模拟再现直流功率升降、滤波器组投切的过程。试验结果表明,修改后的保护可有效避免冲击电流造成的误动。

### 参考文献

- [1] SDR-100A系列微机型交流滤波器成套保护装置技术说明书[S]. 许昌:许继日立电气有限公司, 2008.  
Instruction book of SDR-100A series AC filter protection[S]. Xuchang: XJ Hitachi Company Ltd, 2008.
- [2] 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.
- [3] 刘建刚, 孙同景. 基于FFT的傅里叶算法在微机继电保护中的应用[J]. 继电器, 2004, 32(10): 24-26, 30.

LIU Jian-gang, SUN Tong-jing. Application of fourier algorithm based on FFT in microcomputer-based relay protection[J]. Relay, 2004, 32(10):24-26, 30.

- [4] 陈建玉, 侯喆, 李志坚. 采用傅里叶算法对部分主设备保护继电器性能的影响分析[J]. 继电器, 2005, 33(23): 9-11, 40.  
CHEN Jian-yu, HOU Zhe, LI Zhi-jian. Influence on some main-apparatus protection performance by adopting DFT-based digital relays[J]. Relay, 2005, 33(23): 9-11, 40.
- [5] 易永辉, 赵志华, 薛玉龙, 等. 一种新型的继电保护软硬件平台[J]. 继电器, 2002, 30(6): 26-28, 39.  
YI Yong-hui, ZHAO Zhi-hua, XUE Yu-long, et al. A new software and hardware frame of relay protection[J]. Relay, 2002, 30(6):26-28, 39.
- [6] 朱韬析, 王宁宁, 郭卫明, 等. 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[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(20):102-105.  
ZHU Tao-xi, WANG Ning-ning, GUO Wei-ming, et al. The application of unbalance current protection for capacitor of AC filter used in the HVDC system of CSG[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(20):102-105.
- [7] 张禹芳, 王培龙. 高压并联电容器组的合闸涌流计算方法[J]. 电网技术, 2006, 30(17): 84-87.  
ZHANG Yu-fang, WANG Pei-long. A method to calculate close push current of high voltage shunt capacitor bank[J]. Power System Technology, 2006, 30(17): 84-87.

收稿日期: 2010-01-28

作者简介:

罗宇航(1983-), 男, 硕士, 助理工程师, 从事高压直流输电系统运行维护工作; E-mail: youngor1105@yahoo.com.cn

张振华(1967-), 男, 硕士, 高级工程师, 从事继电保护研究开发工作。E-mail: zhenhuazh@xjgc.com