

# 高压直流输电系统中交流滤波器小组开关失灵保护研究

余江, 周红阳, 赵曼勇

(中国南方电网电力调度通信中心, 广东 广州 510620)

摘要: 分析了交流滤波器小组开关失灵保护的特点。在某些特殊的故障方式下, 流过交流滤波器小组开关的故障电流和正常运行时的负荷电流相差不大。如果仅采用相电流判据, 将无法避免失灵保护误动或者拒动。针对单纯采用相电流判据的不足之处, 本文提出增加零序电流、负序电流及电流变化量判据, 以有效地避免保护误动或者拒动。

关键词: 交流滤波器; 失灵保护; 相电流判据; 零序电流判据; 负序电流判据

中图分类号: TM711 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2006)07-0010-03

## 0 引言

交流滤波器是直流工程的重要组成部分之一, 主要起到平衡无功功率和滤除谐波的作用。受单组交流滤波器的容量限制, 直流工程中都有多组交流滤波器。一般 3~4 个滤波器小组共同接到交流滤波器小组母线上, 组成一个大组, 最后再将交流滤波器小组母线接到站内对应的交流母线上。直流工程中普遍使用的交流滤波器通常为并联电容器、双调谐滤波器和三调谐滤波器。图 1 是高肇直流工程中高坡换流站(整流站)的主接线图, 图中每一个小组滤波器都有相应的开关。

交流滤波器小组保护动作后将跳开滤波器小组开关, 同时启动小组开关的失灵保护。失灵保护动作出口, 跳开所有的相邻开关。例如, 571 开关失灵保护动作, 将跳开 5042、5043 断路器及 572、573、574 开关。交流滤波器小组开关失灵保护将影响直流系统的安全、可靠运行。如果交流滤波器小组开关的失灵保护拒动, 将人为地延长了故障持续时间, 损坏一次设备。如果交流滤波器小组开关失灵保护误动, 误切除大组滤波器, 其直接后果是有可能限制直流的输送功率, 影响电网运行。合理地选择交流滤波器小组开关失灵保护的电流判据, 保证失灵保护的正确动作对于直流系统的安全、可靠运行有重要的现实意义。

## 1 交流滤波器小组保护配置简介

交流滤波器小组保护实现的主要功能包括差动保护、高压电容器  $C_1$  不平衡保护及元件(电容器、电抗器及电阻)的过负荷保护。图 2 是高肇直流工程中三调谐滤波器的 CT 及保护功能配置图。表 1

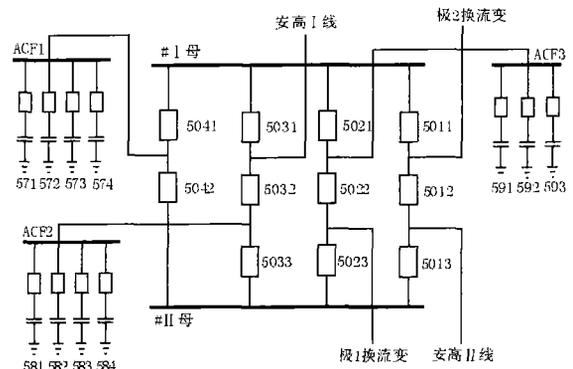


图 1 高坡站主接线单线图

Fig 1 Single line diagram of Gaopo station

列出了三调谐滤波器的保护功能。

表 1 三调谐滤波器保护配置表

Tab 1 Protection function of triple tuned filters

保护功能	简称
差动保护	87ACF
$C_1$ 电容器不平衡保护	60/61ACFC1
电容器过压 过负荷保护	49/59ACF
电容器过流保护	50/51ACF
电容器零序过流保护	50/51ACFZS
低压电抗器 L2 过负荷保护	50/51ACHL2
低压电抗器 L3 过负荷保护	50/51ACHL3
低压电阻 R 过负荷保护	50/51ACFR

## 2 交流滤波器小组开关失灵时的电流特点

### 2.1 相电流

对于滤波器小组开关, 正常运行时, 流过每个小组滤波器的电流在额定电流附近波动。当交流滤波器小组发生以下故障时, 流过交流滤波器小组的电流和正常运行时的电流值相比相差不大, 根据相电流无法区分是否发生故障。

交流滤波器  $C_1$  的部分电容器元件损坏,  $C_1$  电

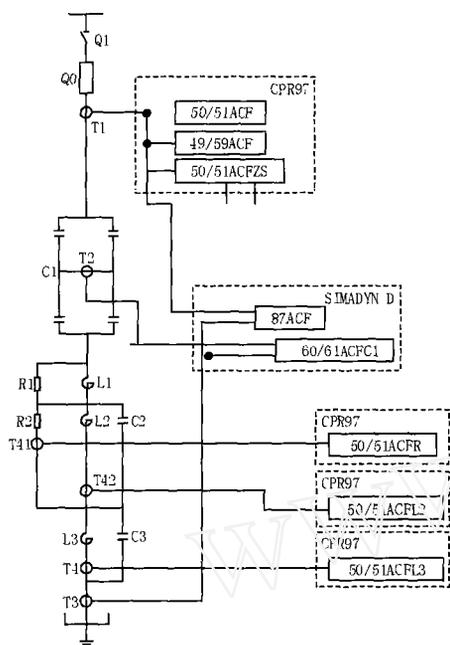


图 2 三调谐滤波器的保护配置图

Fig 2 Protection configuration of triple tuned filters

容器不平衡保护动作切除小组滤波器。

交流滤波器的低压侧发生接地故障,交流滤波器差动保护动作切除小组滤波器。

交流滤波器低压侧电容、电抗、电阻元件的过负荷保护动作切除小组滤波器。

退出小组滤波器时,一相或两相开关没有断开,零序过流保护动作切除小组滤波器。

根据规程要求,开关失灵保护定值应在保证灵敏度的情况下尽量躲过负荷电流。如果按照躲负荷电流整定,在某些故障情况下如果发生交流滤波器小组开关失灵,失灵保护按照现有判据就无法出口,人为地延长了故障持续时间,损坏一次设备。但是如果定值低于滤波器小组的正常负荷电流,失灵保护判据中的电流条件将始终满足,一旦启动失灵开入信号中有干扰,将无法避免保护误动,切除大组滤波器。因此,单纯地采用相电流判据,失灵保护定值不可能作到既能有效地防止误动,又可以避免某些故障情况下保护拒动。

## 2.2 零序电流

正常运行时流过交流滤波器小组的零序电流几乎为零。当有一相或两相滤波器没有跳开时,有零序电流存在。由于交流滤波器小组保护动作同时跳开三相小组开关,只有在发生小组开关三相同步失灵时,才无法通过检测零序电流判断是否发生开关失灵。除三相失灵的极端情况外,零序电流判据能

可靠启动失灵保护。

## 2.3 负序电流

正常运行时流过交流滤波器小组的负序电流几乎为零。当有一相或两相滤波器没有跳开时,有负序电流存在。由于交流滤波器小组保护动作同时跳开三相小组开关,只有在发生小组开关三相同步失灵时,才无法通过检测负序电流判断是否发生开关失灵。除三相失灵的极端情况外,负序电流判据能可靠启动失灵保护。

## 3 交流滤波器小组开关失灵保护的电流判据建议

从 2.1 节的分析中可以看出,单纯地采用相电流判据,失灵保护定值不可能作到既能有效地防止误动,又能避免某些故障情况下保护拒动。因此,有必要在相电流判据的基础上增加新的判据。

虽然滤波器中任一元件损坏或者发生接地故障,都会影响滤波器的调谐特性以及流过滤波器的谐波电流的频率和幅值特性,但是谐波电流特性的变化受交/直流系统运行状态的影响,而且要求有很高的采样率,因此不宜将谐波电流作为交流滤波器开关失灵保护的判据。

### 3.1 采用零序电流判据

正常运行时流过交流滤波器小组的零序电流几乎为零,可以增加零序电流启动量。当有一相滤波器小组开关没有跳开时,零序电流  $3I_0$  的幅值等于负荷电流。因此,零序电流判据能可靠启动失灵保护。增加零序电流判据后,相电流定值可以按照躲负荷电流整定,零序电流整定值 ( $3I_0$ ) 应考虑以下两方面因素:

- 大于 CT 的测量误差而引起的零序电流。
- 不大于正常运行时的负荷电流。

### 3.2 采用负序电流判据

正常运行时流过交流滤波器小组的负序电流几乎为零,可以增加负序电流启动量。当有一相滤波器小组开关没有跳开时,负序电流  $3I_2$  等于负荷电流,当有两相滤波器小组开关没有跳开时,负序电流  $3I_2$  等于负荷电流的 2 倍。因此,负序电流判据能可靠启动失灵保护。增加负序电流判据后,相电流定值可以按照躲负荷电流整定,负序电流整定值 ( $3I_2$ ) 应考虑以下两方面因素:

- 大于 CT 的测量误差而引起的负序电流。
- 不大于正常运行时的负荷电流。

### 3.3 采用电流变化量判据

除了零序及负序电流判据外,还可以考虑采用电流变化量判据。系统正常运行时流过交流滤波器小组开关的电流随母线电压的变化而变化,而且电流在一定范围内变化。一旦电流的变化量超出此范围,就可以认为交流滤波器小组上发生了故障或者执行了退出该小组滤波器的操作,启动失灵保护。增加电流变化量判据后,相电流定值可以按照躲负荷电流整定,电流突变量定值应满足式(1):

$$\frac{I_{\text{load-max}} - I_{\text{load-min}}}{k} \leq I_{\text{set}} \leq \frac{V_{\text{max}} - V_{\text{min}}}{Z_{\text{filter}}} \quad (1)$$

式中:  $V_{\text{max}}$ 、 $V_{\text{min}}$  分别为交流系统正常运行时允许的最高和最低电压,  $Z_{\text{filter}}$  为交流滤波器小组的等值工频阻抗,  $I_{\text{load-max}}$  为交流滤波器小组正常运行时的最小负荷电流,  $k$  为可靠系数。

### 3.4 采用开关位置节点信息

采用断路器或开关的位置信息可以很直观地看出断路器或开关是否在分位,然而断路器或开关的位置节点不可靠,因断路器或开关位置节点不正确而导致失灵保护不正确动作的事件时有发生,例如2004年7月8日丰万顺串补就因为“分合闸位置不明确误跳线路开关<sup>[1]</sup>”。而且,如果断路器或开关的位置节点有误(分、合闸位置同为1或0),还是要靠电流判据把关,防止失灵保护误动。因此,不推荐使用断路器或开关的位置节点作为启动失灵的判据。目前,国内外保护厂家的开关失灵保护中一般都不会单独使用断路器或开关的位置节点作为启动失灵的判据。

## 4 改进方案

从上述的分析中可以看出,增加零序电流判据、

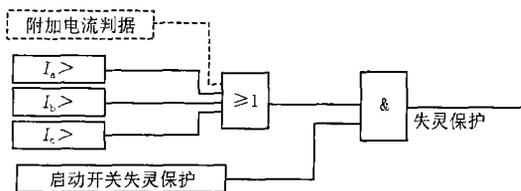


图3 改进后的失灵保护逻辑

Fig 3 Logic of improved breaker failure protection

负序电流判据和电流变化量判据能在很大程度上避免保护不正确动作。改进后的交流滤波器小组开关保护的电流判据如图3所示,图中各种电流判据统一用虚线框中的附加电流判据表示。对于目前普遍使用的微机型开关保护,可以很容易增加图3中所示的附加电流判据。

## 5 结束语

交流滤波器小组上发生某些故障时,流过交流滤波器小组的电流与正常运行时的负荷电流相差不大。因此,交流滤波器小组开关失灵保护单纯地采用相电流判据,存在误动或拒动的可能。

本文结合交流滤波器小组保护配置,分析了交流滤波器小组开关失灵保护的特点,提出采用零序电流、负序电流及电流变化量判据以弥补相电流判据的不足。配合适当的整定原则,上述方案能在除三相同步失灵的极端情况外的大多数情况下可靠启动交流滤波器小组开关失灵保护。

采用断路器或开关的位置信息可以很直观地看出断路器或开关是否在分位,然而断路器或开关的位置节点不可靠。因此,在交流滤波器小组开关失灵保护中将开关位置节点信号作为启动失灵保护的独立判据要慎重。

## 参考文献:

- [1] 钱锋,刘平,丰万顺. 串补故障分析及软件逻辑改进建议[J]. 华北电力技术, 2004, (11): 45-46.  
QIAN Feng, LIU Ping, FENG Wan-shun. Analysis on Series Compensation Faults and Proposition for Software Logic Improvement [J]. North China Electric Power, 2004, (11): 45-46.

收稿日期: 2005-09-07; 修回日期: 2005-12-21

作者简介:

余江(1975-),女,工程师,从事继电保护运行管理及研究工作; E-mail: yujiang@csg.net.cn

周红阳(1969-),男,高级工程师,从事继电保护生产运行管理及研究工作;

赵曼勇(1957-),女,教授级高级工程师,从事继电保护生产运行管理及研究工作。

## Research of breaker failure protection for AC filter sub-bank in HVDC system

YU Jiang, ZHOU Hong-yang, ZHAO Man-yong

(Power Dispatch and Communication Center of China Southern Grid Co., Ltd, Guangzhou 510620, China)

(下转第 17 页 continued on page 17)

该缓存一定时间的数据,而且小波分析计算复杂,有大量的乘法运算和中间结果,所以,系统应该有足够的内存容量。高速高精度的数据采集,也要求装置系统 CPU、总线等都能够很好地适应,所以,本选线装置可以采用高性能的工控机,或者直接设计在变电站综合自动化系统的服务器上,以充分利用系统现有资源,减少投资。

#### 参考文献:

- [1] 黄景光,吕艳萍,等.应用小波包构成暂态零序功率分量的消弧线圈接地系统故障选线保护[J].继电器,2003,31(6):1-4.  
HUANG Jing-guang, L ü Yan-ping, et al The Peterson Coil Grounded System Single Phase Fault Detection by the Wavelet Packets Zero Sequence Power Components[J]. Relay, 2003, 31(6):1-4.
- [2] 黄景光,吕艳萍,等.小波系数峰值极性法的配电网单相接地故障选线保护[J].继电器,2005,33(12):17-21.  
HUANG Jing-guang, L ü Yan-ping, et al The Ungrounded System Single Phase Fault Detection by the Wavelet Packets Coefficient Peak Polarities[J]. Relay, 2005, 33(12):17-21.
- [3] Michel C O, Brouaye F. Wavelet: a New Tool for the Resonant Grounded Power Distribution Systems Relaying[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1996, 11(3):1301-1308.
- [4] 贾清泉,等.应用小波检测故障突变特性实现配电网小电流接地故障选线保护[J].中国电机工程学报,2001,21(10):78-

82

- JA Qing-guan, et al Abrupt Change Detection with Wavelet for Small Current Fault Relaying[J]. Proceedings of CSEE, 2001, 21(10):78-82.
- [5] 董新洲,毕见广.配电线路暂态行波的分析 and 接地选线研究[J].中国电机工程学报,2005,25(4):1-6.  
DONG Xin-zhou, BI Jian-guang Analysis on Transient Traveling Wave and Study on Fault Line Selection for Distribution Lines[J]. Proceedings of CSEE, 2005, 25(4):1-6.
- [6] 周泽存.高电压技术[M].北京:水利电力出版社,1988.  
ZHOU Ze-cun High Voltage Technology[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1988.
- [7] 崔锦泰.小波分析导论[M].程正兴,译.西安:西安交通大学出版社,1995.  
CUI Jin-tai An Introduction to Wavelets[M]. CHENG Zheng-xing, Trans Xi an: Xi an Jiaotong University Press, 1995.

收稿日期:2005-07-29; 修回日期:2005-11-18

#### 作者简介:

黄景光(1968-),男,讲师,主要从事信号分析和电力系统继电保护研究;E-mail:huangjingguang@xinhuanet.com

刘家豪(1970-),男,讲师,主要从事电力系统绝缘与过电压研究;

吕艳萍(1955-),女,教授,主要从事电力系统继电保护及变电站综合自动化研究。

### Distribution grid earth fault line detection study by the traveling wave wavelets coefficient maximum polarities redundancy voting

HUANG Jing-guang<sup>1</sup>, LU Hui-jia<sup>1</sup>, L ü Yan-ping<sup>2</sup>

(1 China Three Gorges University, Yichang 443002, China 2 Wuhan University, Wuhan 430072, China)

**Abstract:** The paper studies the features of the transient traveling waves when a single phase earth fault taking place in distribution grid. And using the traveling wave wavelets coefficient maximum polarities of the bus bar voltage and lines currents' zero modes, a new detection technique based on wavelets is introduced. After identifying the primary ripples and the coefficient maximum polarities, and redundancy voting the results of 7 times detections, the fault line will be identified. The paper simulates a small typical distribution grid. A simulation program is compiled, and the exactness and availability are proved. Some application advices are brought forward as well.

**Key words:** wavelets analysis; earth fault detection; coefficient maximum polarities; redundancy voting

(上接第12页 continued from page 12)

**Abstract:** The characteristic of breaker failure protection for AC Filter (ACF) sub-bank is presented. In some special fault case, fault current through ACF sub-bank is different a little from normal load current. If only phase current is used in breaker failure protection, miss trip may occur no matter the threshold of current is higher or lower than load current. Zero-sequence current criterion, negative sequence current criterion and phase current variation can be used to improve the performance of breaker failure protection for ACF sub-bank.

**Key words:** AC filter (ACF); breaker failure protection; phase current criterion; zero sequence current criterion; negative sequence current criterion