

DOI: 10.7667/PSPC150524

# 换流站交流场3/2接线中开关联锁跳闸逻辑设计与实现方法

于晓军, 刘志远

(国网宁夏电力公司检修公司, 宁夏 银川 750001)

**摘要:** 为了解决换流站中开关联锁存在的问题, 提出一种换流站中开关联锁逻辑设计与实现方法。利用中开关电流互感器二次电流作为启动量, 结合两侧边开关在不同的运行方式, 对中开关联锁逻辑进行智能化判断。考虑了与换流变或大组交流滤波器配串的交流线路在各种故障运行工况时的中开关动作逻辑, 具备自适应运行方式的能力。仿真分析结果表明, 该方法能适应大容量交直流系统各种运行工况, 实现了对开关单跳、偷跳等涉及中开关联锁跳闸运行工况的智能化判断。

**关键词:** 换流站; 中开关联锁; 3/2 接线; 断路器辅助保护

## Design and realization method for interlock tripping logic of converter station AC circuit breaker in middle with 3/2 connection

YU Xiaojun, LIU Zhiyuan

(Maintenance Company of State Grid Ningxia Electric Power Co., Ltd., Yinchuan 750001, China)

**Abstract:** This paper proposes a new design and realization method for interlock logic of converter station circuit breaker in middle. By using the CT secondary current of circuit breaker in middle as the starting quantity and combining with the different operation of both side breakers, the interlock logic of converter station circuit breaker in middle is judged. Interlock trip logics of AC line string with converter transformer or super group AC filter under different fault operation conditions are considered, showing a self-adaptive capacity. Simulation analysis result indicates the method can adapt different operation conditions of high capacity HVDC/AC system, and will make a intelligence diagnosis for the operation condition of interlock logic trip of circuit breaker in middle, such as breaker's single trip, non-fault trip and so on.

**Key words:** converter station; interlock logic of breaker in middle; 3/2 connection; breaker auxiliary protection

## 0 引言

与换流变压器进线或大组交流滤波器进线配串的交流线路, 在换流变压器(大组交流滤波器)侧边开关停运后, 由中开关和交流线路侧边开关带换流变(大组交流滤波器)运行方式下<sup>[1-2]</sup>, 主要存在以下问题。

1) 当交流线路发生瞬时性单相接地故障后, 由于中开关的单跳单重, 导致大组交流滤波器整组重合, 在经过充分放电的情况下, 由于重合的随机性, 在重合后可能是整组的交流滤波器承受 2 倍额定电压<sup>[3-5]</sup>, 直接导致整组滤波器被击穿, 该种工况下中开关不应重合。

2) 当交流线路发生瞬时性单相接地故障后, 由于中开关的单跳单重, 会导致换流变压器和直流系统遭受一次重创, 在逆变侧会引起持续换相

失败<sup>[6-7]</sup>, 该种工况下中开关不应重合。

3) 当中开关发生偷跳后, 由于位置不对应启动重合闸的功能, 同样会发生大组交流滤波器整组承受 2 倍额定电压和直流系统遭受重创, 该种工况下中开关不应重合。

4) 当边开关发生偷跳后, 由于位置不对应启动重合闸的功能, 在边开关跳闸后重合前的时间内, 偷跳相线路承受过负荷(与换流变配串)和过电压(与大组交流滤波器配串)危险, 在该种工况下中开关应该三相跳闸。

针对以上存在的问题本文提出一种新的换流站交流场中开关联锁逻辑设计与实现方法。

## 1 联锁逻辑设计与实现方法概述

针对换流站中开关联锁逻辑普遍存在的问题, 本文采用中开关 CT 电流作为模拟量启动电

流, 为保证联锁跳闸的可靠性, 以开关量输入和模拟量定值“与逻辑”作为动作判据的出口方式<sup>[8]</sup>。该逻辑分为两个部分, 其一是边开关联跳允许逻辑, 由边开关保护来实现; 其二是中开关联跳逻辑, 由中开关保护屏上增加专用中开关联锁控制装置实现, 当满足中开关联锁跳闸逻辑条件时, 配置于中开关保护屏上的专用中开关联锁跳闸装置动作出口, 将中开关跳开。

该方法利用了中开关电流为启动量, 在单串内 3 个开关均正常运行时, 中开关联锁逻辑由于均收不到两侧边开关联跳允许逻辑信号, 专用中开关联锁跳闸装置即使中开关电流发生突变, 则只会启动, 不会进入故障判别, 有效防止了误动的发生。该方法保护定值和配置单独整定, 不会对原件、线路保护产生任何影响, 不改变原有保护定值, 配置等参数。在运行过程中能自动适应系统运行方式, 无需人为干预, 能自动识别断路器偷跳, 线路单相接地、多相接地等各种故障, 实现了中开关在特殊运行方式下的单跳不重功能。

## 2 联锁逻辑设计与实现方法

### 2.1 中开关联锁逻辑中两侧边开关联跳允许开出设计方式

现场二分之三接线方式断路器均配置开关保护, 因此可以利用开关保护对其开出进行就地判别, 条件满足后直接开出联跳允许信号给专用的中开关联锁控制装置。具体设计方式如下。

#### 1) 联跳允许开出判据设计

(1) 在原有的边开关保护装置中增加边开关联跳允许功能, 专用的中开关联锁控制装置只有在同时收到两侧边开关均开出的联跳允许信号后, 才满足开关量动作判据。

(2) 不额外增加定值, 边开关联跳允许功能固定投入, 满足条件后开出联跳允许信号给中开关联锁控制装置。

(3) 边开关屏上设计最高优先级边开关联跳允许硬压板与联跳允许开出逻辑并联, 以保证边开关在检修时, 中开关联锁逻辑不受影响。

(4) 边开关联跳允许逻辑如下: 如图 1 所示, 当边开关任一相跳闸位置开入且该相无流时, 联跳允许逻辑延时 20 ms 动作, 驱动边开关联跳允许开出接点。

#### 2) 联跳允许出口设计

(1) 在原有的开关保护信号插件上增加边开关联跳允许出口。

(2) 为防止误开出, 边开关联跳允许开出采用分 CPU 的开出模式: CPU1 联跳允许开出两付接

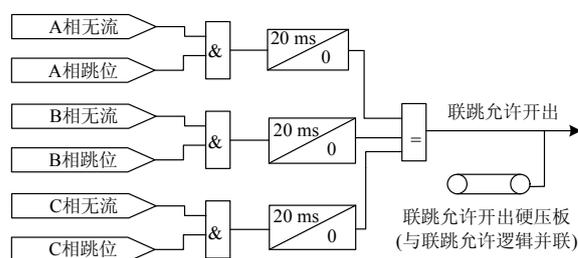


图 1 边开关允许开出逻辑

Fig. 1 Logic output of bus breaker protection

点、CPU2 联跳允许开出两付接点。注: 该联跳允许开出支持长期动作(对于单 CPU 可采用两组接点串联方式, 以满足可靠性要求)。

(3) 实际使用时, 可将 CPU1 和 CPU2 的联跳允许开出接点串接作为边开关联跳允许开出接点使用, 另外一付接点备用。

### 2.2 专用中开关联锁控制装置设计

1) 为了最大程度保证装置的独立性, 中开关联锁控制功能由单独的保护装置(专用中开关联锁控制装置)来完成, 该装置配置于中开关保护屏内, 具体设计方式如下。

(1) 定值设置。中开关联锁控制功能固定投入, 且装置中仅有一个可整定的控制字“中开关联跳三相”, 该控制字需根据现场一次实际接线(配串方式)情况来选择投退, 该方式是专为换流变与交流线路配串, 大组交流滤波器与交流线路配串的方式下中开关偷跳设计的, 以保证中开关偷跳后中开关被可靠跳开。

(2) 交流回路。中开关联锁控制装置接入中开关的电流回路, 用于模拟量启动, 防止两侧边开关再误发联跳允许开出信号, 或者专用中开关联锁控制装置误收到联跳允许开出信号后, 中开关误动。该设计方式基于三个串中开关有一个开关动作后均引起中开关电流变化的原理。该设计方式的采用, 有效保证了中开关联锁控制装置出口的可靠性。

(3) 开入回路。中开关联锁控制装置需接入中开关三个分相跳闸位置, 用以判别中开关是否存在偷跳。另中开关联锁控制装置需接入两个边开关联跳允许命令, 用来判别两侧边开关是否同时存在至少有一相在分闸位置。为防止误开入, 每侧的边开关联跳允许命令均采用双开入模式。

#### 2) 中开关联跳逻辑判据设计

逻辑一: 正常模式, 当同时收到两个边开关联跳允许开入后, 且满足电流启动条件(电流启动门槛固定为 0.1 倍额定电流)时, 联跳中开关保护延时 25 ms 动作, 驱动联跳中开关出口接点跳开

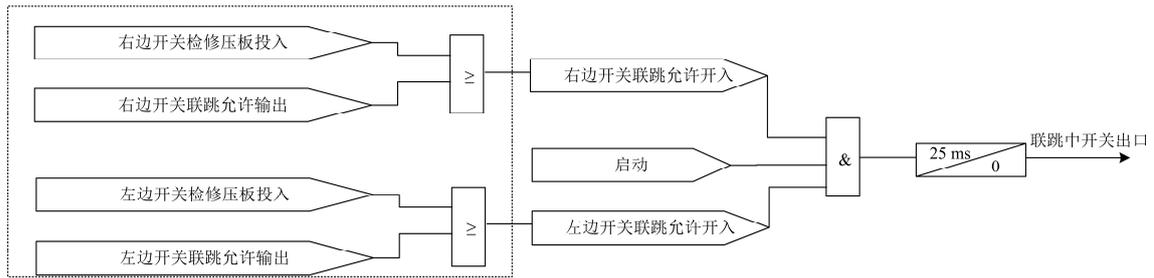
中开关，跳闸出口逻辑如图 2 所示。

逻辑二：特殊模式，在元件(换流变或者大组交流滤波器)与交流线路配串方式下(固定左边联跳允许开入元件侧边开关联跳允许)，可投入“中开关联跳三相控制字”，在中开关任一相跳闸位置开入且该相无流时(单相偷跳时)，如果仅收到左边开关联跳允许开入，且满足电流启动条件(电流启动门槛固定为 0.1 倍额定电流)时，联跳中开关保护延时 25 ms 动作，联跳中开关出口跳闸跳开中开关，跳闸逻辑如图 3 所示。

### 3) 出口设计方案

实际使用时，可将两付中开关联跳出口节点直接接入中开关两个跳闸回路，采用不启动重合闸，启动失灵的方式。

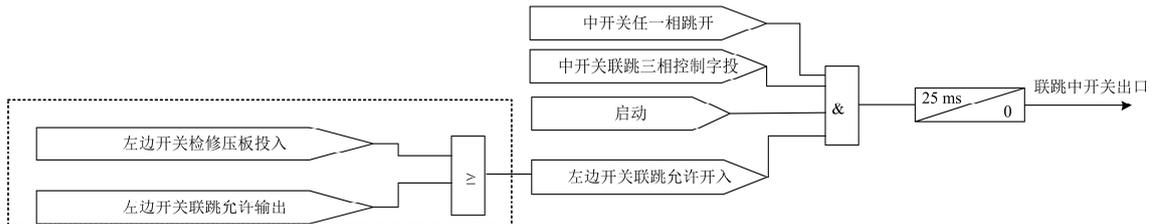
中开关联锁控制设计回路连接示意图如图 4 所示：为防止逆变侧中开关联锁控制逻辑出口跳闸后，直流系统未闭锁引起换相失败(逆变侧无换相电压)等其他问题，在中开关联锁逻辑控制出口动作跳开中开关的同时，向相应极发送直流闭锁信号，闭锁相应直流系统。



注：图中方框内均在两侧边开关保护屏中实现，其他为中开关联锁跳闸装置内部逻辑。

图 2 中开关跳闸出口逻辑

Fig. 2 Logic of middle breaker trip



注：图中方框内为元件侧边开关保护屏中实现，其他为中开关联锁跳闸装置内部逻辑。

图 3 特殊运行方式下的中开关跳闸出口逻辑

Fig. 3 Logic of middle breaker trip in special operation condition

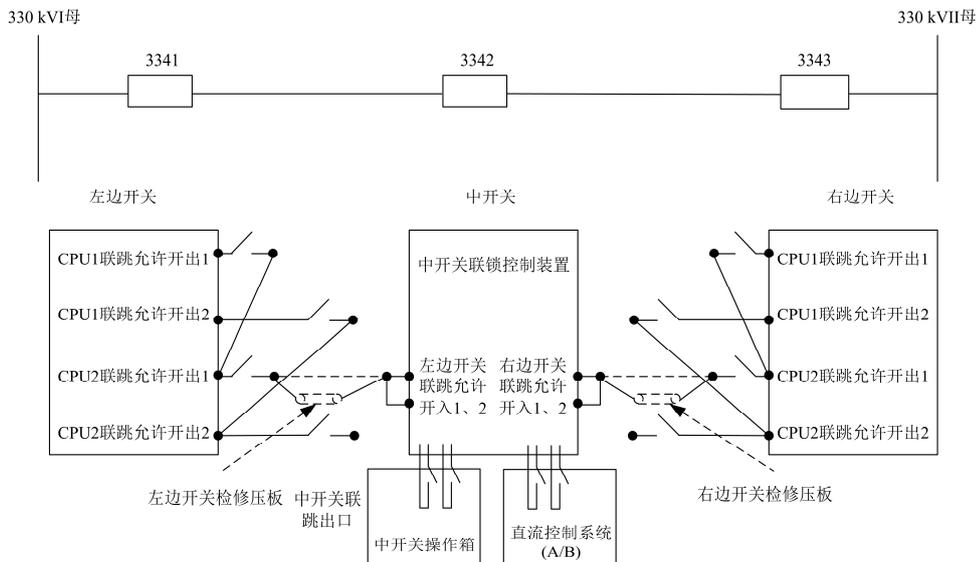


图 4 中开关联锁控制设计回路连接示意图

Fig. 4 Connection schematic diagram of middle breaker



### 3 仿真分析

为验证本文提出的设计方案, 利用 RTDS 在图 1~图 3 的基础上对其进行了动模实验。仿真模型如图 5 所示, 系统短路容量 16 400 MVA, TA1, TA2, TA3 变比均为 3000/1, L1 为线路单元, B1 为换流变单元。

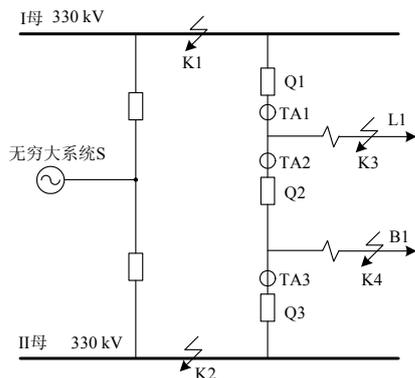


图 5 动模实验主接线图

Fig. 5 Main wiring graph of dynamic simulation test

分别仿真了 330 kV II 母 K2 点故障后, K3 点发生单相接地故障时专用中开关联锁控制装置的动作情况, 如图 6 所示。

如图 6 和图 7 中 I1A, I1B, I1C 分别为电流互感器 TA1 二次侧 A, B, C 三相电流; I2A, I2B, I2C 分别为电流互感器 TA2 二次侧 A, B, C 三相电流; I3A, I3B, I3C 分别为电流互感器 TA3 二次侧 A, B, C 三相电流。BRK1AW, BRK1BW, BRK1CW 分别为 Q1 断路器 A, B, C 三相合闸位置信号; BRK2AW, BRK2BW, BRK2CW 分别为 Q2 断路器 A, B, C 三相合闸位置信号; BRK3AW, BRK3BW, BRK3CW 分别为 Q3 断路器 A, B, C 三相合闸位置信号。RBRKEN 为 I 母侧边开关允许跳闸信号、MBRKT 为中开关 Q2 断路器动作跳闸信号、LBRKEN 为 II 母侧边开关允许跳闸信号。

由图 6 看出在 II 母 K2 点故障后, II 母侧边开关 Q3 动作跳闸, 根据图 1 的边开关联跳允许开出逻辑, 此时 Q3 断路器保护会开出联跳允许信号给专用中开关联锁控制装置, 且长期有效。在该种工况下, 如果 K3 点发生 B 相接地故障, L1 线路保护要分别跳开 Q1 断路器和 Q2 断路器 B 相断路器, 在 Q1 断路器 B 相跳开后, 中开关联跳允许信号满足开出条件, 此时专用中开关联锁控制装置同时收到两侧边开关联跳允许信号, 且有启动电流存在, 专用中开关联锁控制装置动作跳开中开关 Q2 断路器 A, B, C 三相。边开关 Q1 在单相跳闸后, 经过 0.6 s 短延时后重合成功继续运行。采用同样的方

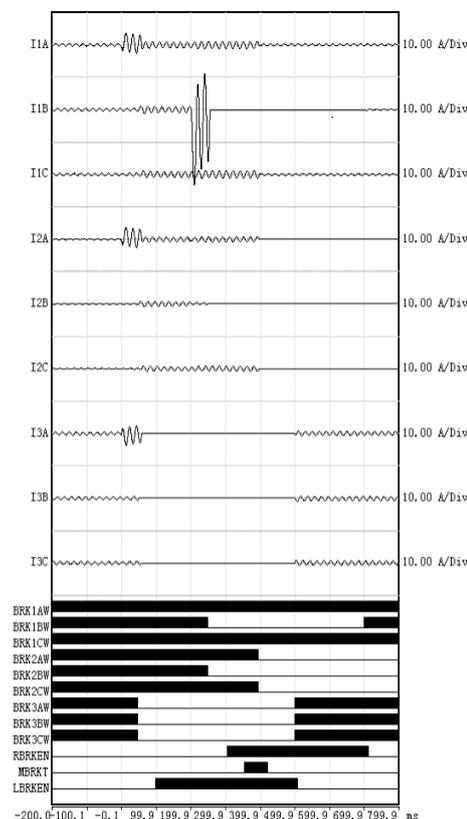


图 6 K2 点 A 相接地故障发生后 K3 点发生 B 相接地故障

Fig. 6 Single phase B grounding fault in K3 after single phase A grounding fault in K2

法, 在 K3 点进行 A、C 相单相接地, 两相接地, 相间及三相短路故障, 专用中开关联锁控制装置均可可靠动作。

针对母线侧两个边开关偷跳后与线路保护单跳故障工况, 专用中开关联锁控制装置均正确可靠动作, 跳开中开关, 线路侧边开关由位置不对应启动重合闸, 重合成功。

针对 Q3 断路器检修后, 出现 Q1、Q2 带换流变单元和线路单元情况时出现的中开关偷跳特殊运行工况, 采用图 3 特殊运行方式下的中开关跳闸出口逻辑。由图 7 可以看出, 边开关 Q3 检修后, Q1、Q2 带换流变单元和线路单元运行, 中开关 B 相偷跳后, 专用中开关联锁控制装置无需收到 I 母侧边开关 Q1 开出的联跳允许信号即可出口跳闸, 跳开中断路器 Q2 三相, 满足图 3 所示特殊运行方式下的中开关跳闸出口逻辑。

仿真结果表明采用本文提出的新方法, 在换流变与线路配串, 换流变与大组交流滤波器配串, 大组交流滤波器与线路等配串方式下, 中开关连锁逻辑均能可靠正确动作。

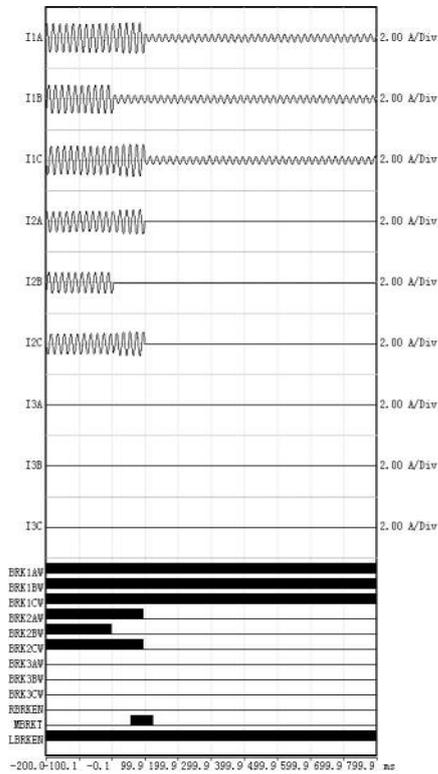


图 7 Q3 断路器检修时，Q2 中断路器 B 相偷跳  
 Fig. 7 Breaker Q2 trip accident when breaker Q3 in maintenance state

#### 4 结论

本文提出的中开关联锁逻辑设计与实现方法，对换流站换流变(大组交流滤波器)与线路配串、主变与线路配串等各种运行方式的中开关联锁逻辑，均能作出智能化的判断，确保了中开关联锁逻辑的正确动作，保证了换流站交直流系统的安全稳定运行。该方法适合在建直流工程中中开关联锁逻辑的实现，方便对在运直流工程中中开关联锁逻辑的改造，可应用于采用二分之三接线方式的大容量发电厂主变与线路配串方式。

#### 参考文献

[1] 国家电网公司运维检修部. 国家电网公司防止直流换流站单、双极强迫停运二十一项反事故措施[M]. 北京: 2012.  
 The Operation and Maintenance Department of State Grid Corporation of China. Twenty-one measures to prevent monopole and bipolar HVDC system forced outage[M]. Beijing: 2012.

[2] 于晓军, 刘志远. 银川东±660 kV 换流站中开关连锁逻辑改进方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(10): 144-148.  
 YU Xiaojun, LIU Zhiyuan. Study on the improved method for interlock logic of YINCHUAN-DONG ±660

kV converter station breaker in middle[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(10): 144-148.

[3] 熊红德, 钟庆, 杨煜, 等. 特高压直流输电换流站 SVC 与滤波器投切协调控制仿真分析[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(10): 144-148.  
 XIONG Hongde, ZHONG Qing, YANG Yu, et al. Research on simulation of coordinated control between UHVDC converter station SVC and its reactive power compensation devices[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(10): 144-148.

[4] 张庆武, 潘卫明, 张靖, 等. ±1 100 kV 直流控制保护系统冗余设备故障处理的探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(21): 148-153.  
 ZHANG Qingwu, PAN Weiming, ZHANG Jing, et al. Discussion on fault handles about redundant devices of control and protection system for ±1 100 kV UHVDC[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(21): 148-153.

[5] 钟显, 樊艳芳, 王一波, 等. 含高密度风电、交直流送端电网直流闭锁故障稳控方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(13): 130-138.  
 ZHONG Xian, FAN Yanfang, WANG Yibo, et al. Research of stability control strategies for high density wind power, AC-DC sending grid bipole trip[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(13): 130-138.

[6] 徐殿国, 刘瑜超, 武健. 多端直流输电系统控制研究综述[J]. 电工技术学报, 2015, 30(17): 1-12.  
 XU Dianguo, LIU Yuchao, WU Jian. Review on control strategies of multi-terminal direct current transmission system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(17): 1-12.

[7] 孙士云, 束洪春, 于继来. 单相重合时序对特高压交直流并联系统暂稳影响的机理分析[J]. 电工技术学报, 2009, 24(10): 159-165.  
 SUN Shiyun, SHU Hongchun, YU Jilai. Mechanism analysis of single-phase reclosure sequence's influence on ultra-high voltage AC/DC parallel system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(10): 159-165.

[8] 于晓军, 刘志远. 银川东换流站中开关连锁逻辑的改进[J]. 宁夏电力, 2014(1): 52-58.  
 YU Xiaojun, LIU Zhiyuan. Improvement of intermediate switch interlocking logic for Yinchuan eastern converter station[J]. Ningxia Electric Power, 2014(1): 52-58.

收稿日期: 2016-01-31; 修回日期: 2016-07-19

#### 作者简介:

于晓军(1984-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护及直流输电控制与保护, 现从事交直流系统控制保护维护管理工作; E-mail: yuxiaojun\_1314@163.com

刘志远(1970-), 男, 学士, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护及直流输电控制。

(编辑 葛艳娜)