

兴安直流金属回线纵差保护研究

邬乾晋, 张楠, 郑伟, 杨光源

(南方电网超高压输电公司检修试验中心, 广东 广州 510663)

摘要: 兴安直流现有保护逻辑下, 金属回线线路发生瞬时性接地故障后无故障重启逻辑, 降低了直流系统的可靠性。提出了兴安直流 SIMADYN D 平台下增加金属回线纵差保护的程序修改方案, 该保护作为直流金属回线线路接地故障的主保护, 动作后果为启动直流线路故障重启逻辑。利用兴安直流 EMTDC 仿真模型, 在单极金属运行方式下, 开展不同功率水平、不同故障位置、不同过渡电阻的故障仿真。仿真结果显示该保护在过渡电阻较大情况下有拒动的风险, 在大负荷条件下执行故障重启并不能有效地熄灭故障点电弧, 故障重启失败后闭锁直流。综合考虑保护逻辑设计方案和 EMTDC 仿真结果, 不建议兴安直流增加金属回线纵差保护。

关键词: 兴安直流; 金属回线纵差保护; SIMADYN D; EMTDC 仿真

Research on metallic return line longitudinal differential protection in Xing-An HVDC Project

WU Qian-jin, ZHANG Nan, ZHENG Wei, YANG Guang-yuan

(China Southern Power Grid EHV Maintenance & Test Center, Guangzhou 510663, China)

Abstract: When metallic return line occurs transient fault, DC protection system will not request fault restart in existing protection logic in Xing-An HVDC Project, which reduces the reliability of DC system. This paper proposes a metallic return line longitudinal differential protection (87MLL) at SIMADYN D platform. This protection acts as the main protection for metallic return line earth fault. This paper uses EMTDC model to simulate earth fault at different power, different fault location, different resistance monopolar metallic return operation. The result shows that the protection has misstrip risk when fault resistance is large, the arc can't extinguish during DC system restart when DC power is high. By comprehensively considering protection logic design scheme and EMTDC simulation result, we don't suggest to add 87MLL in Xing-An HVDC Project.

Key words: Xing-An HVDC Project; metallic return line longitudinal differential protection; SIMADYN D; EMTDC simulation

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)19-0145-05

0 引言

单极金属回线方式是直流输电系统的一种常用方式,它们可以保证某一极因检修等工作停运时,另一极仍可正常运行,从而降低对整个系统的影响^[1-4]。兴安直流曾发生多次金属回线接地故障导致的直流闭锁,直流系统停运后均强制送电成功,表明金属回线接地故障可以通过暂时停运直流消除故障点。兴安直流现有保护系统逻辑中,直流线路横差保护(87DCLT)、站内接地网过流保护(76SG)可以保护金属回线线路的接地故障,但两个保护的出口逻辑均为极闭锁,对于金属回线的瞬时性接地故障,保护功能无线路故障重启逻辑,降低了直流输电系统的可靠性^[5-7]。

针对兴安直流金属回线线路接地故障相关保护逻辑的不足,提出了兴安直流增加金属回线纵差保护的程序修改方案,该保护作为直流金属回线线路接地故障的主保护,动作后果为启动直流线路故障重启逻辑。在SIMADYN D平台下完成了保护逻辑的设计、修改,保护逻辑设计涉及到的现场软件修改较多,现场实施风险较大。利用兴安直流 EMTDC 仿真模型,在单极金属运行方式下,开展不同功率水平、不同故障位置、不同过渡电阻的故障仿真,仿真结果显示该保护在过渡电阻较大情况下有拒动的风险,且在大负荷条件下执行故障重启并不能有效地熄灭故障点电弧,故障重启失败后闭锁直流。综合考虑保护逻辑设计方案和 EMTDC 仿真结果,不建议现场增加兴安直流金属回线纵差保护。

1 金属回线接地故障相关保护原理

兴安直流输电工程中，直流线路横差保护(87DCLT)、站内接地网过流保护(76SG)都能保护金属回线运行方式下的金属回线线路接地故障，横差保护和接地网过流保护动作后直接闭锁直流，均不再启动直流^[8-9]，其保护原理分别如表1、表2所示。

表 1 横差保护（87DCLT）原理及定值

Table 1 Theory and threshold of 87DCLT protection

出口判据	保护定值	动作延时	出口逻辑
$ IdL-IdLop >\Delta$	150 A	2 s	闭锁

表 2 站内接地过流保护（76SG）保护原理及定值

Table 2 Theory and threshold of 76SG protection

出口判据	试用范围	保护定值	动作延时	出口逻辑
$I_{dec3H}>\Delta$	BP、GR 模式	22.5 A	900 ms	告警
$I_{dec3H}>\Delta$	BP、GR 模式	45 A	3 s	闭锁
$I_{dec3H}>\Delta$	MR 模式	45 A	整流站 900 ms 逆变站 1.7 s	闭锁

由表1可知，兴安直流工程中，直流线路横差保护(87DCLT)的出口方式为极闭锁，是由于厂家在功能设置中将直流线路横差保护定位为金属回线故障时站内接地网过流的后备保护。站内接地网过流保护除了反映金属回线接地故障外，站内发生接地故障保护也会动作出口，从人身及直流设备安全角度考虑，站内发生接地故障显然不适合重启直流。因此，直流线路横差保护的出口方式设置为极闭锁^[10-11]；但在楚穗直流和普侨直流保护逻辑中，考虑到站内接地故障已有多个保护动作闭锁极，直流线路横差保护出口逻辑修改为：第一次动作，400 ms强制移相，在接下来的10 000 ms内若有第二次动作，再发400 ms强制移相并同时发闭锁命令。

据统计，线路故障多为瞬时性接地故障，在兴安直流现有保护逻辑下，金属回线线路发生瞬时性故障并无重启功能，增加了直流系统闭锁的风险；在兴安直流中增加金属回线纵差保护（87MLL），保护出口逻辑为执行线路故障重启，可有效地降低金属回线线路瞬时性故障导致直流闭锁的风险。兴安直流金属回线纵差保护原理如表3所示，表中 I_{dL_op} 为本站金属回线上的电流测量值， $I_{dL_op_os}$ 为对站金属回线上的电流测量值。

表 3 金属回线纵差保护 87MLL 原理及定值
Table 3 Theory and threshold of 87MLL protection

判据	延时	出口
$ABS(I_{dL_op}-I_{dL_op_os})>\Delta$; $\Delta=0.2\times\max(I_{dL_op}, I_{dL_op_os})$, 若 $\Delta\geq 0.15$ pu , Δ 取 0.15 pu ; 若 $\Delta\leq 0.05$ pu , Δ 取 0.05 pu	600 ms	线路故障重启

2 SIMADYN D 平台金属回线纵差保护逻辑设计

兴安直流保护逻辑基于SIMADYN D平台设计，综合考虑各CPU的负荷率及程序改动情况，在ep3_p4板卡的DCLINE4功能包中对金属回线纵差保护（87MLL）进行设计。新增87MLL保护需要在站间增加电流量的通信；金属回线电流值的传输、直流运行方式的传输、保护出口线路重启命令的传输、SER信号传输、TFR录波请求命令的传输等需要在直流保护的ep3_p2、ep3_p3、ep3_p4、ep3_p5共计5个板卡中修改相关逻辑，各个板块的修改情况简单介绍如下。

ep3_p2板卡修改情况：双极大地运行方式、单极大地运行方式、金属回线运行方式送往ep3_p4板卡。

ep3_p3板卡修改情况：金属回线线路电流IDL_OP信号送往ep3_p4板卡；金属回线纵差保护的出口逻辑在ep3_p3板卡中与行波保护、27du/dt保护出口逻辑取或，执行线路故障重启。

ep3_p4板卡修改情况：接收ep3_p5板卡送来的对站金属回线线路电流IDL_OP_OS信号；将本站的IDL_OP信号送往ep3_p5板卡，并最终送往对站；设置IDL_OP_OS信号异常和金属回线纵差保护出口的SER信息；金属回线纵差保护出口请求故障重启命令送往ep3_p3板卡；根据表3的金属回线纵差保护原理及定值，设计SIMADYN D平台下的87MLL软件逻辑，并设置保护复位条件为：1) 单极大地运行方式；2) 双极大地运行方式；3) 金属大地运行方式取反；4) IDL_OP信号故障；5) IDL_OP_OS信号故障；6) 通信故障；7) 保护出口后延时50ms闭锁本保护；8) 行波保护和电压突变量保护动作后闭锁本保护；9) 保护系统复位；10) 对站保护系统不OK。

ep3_p5板卡修改情况：将本站的IDL_OP信号送往对站；接收对站的IDL_OP_OS信号；增加87MLL触发TFR故障录波逻辑。

由兴安直流新增金属回线纵差保护87MLL在SIMADYN D平台下的软件逻辑设计方案可知：1)

增加金属回线纵差保护需要在两站之间传输模拟量, 在保护系统的各EP3板卡之间通信传输模拟量和状态量, 牵涉的量较多; 2) EP3板卡之间的新增通信信号需要对EP3编译文件修改; 3) 两站保护系统之间新增通信信号需要对通信屏柜进行配置, 同时需要核实光纤通道是否足够。以上的软、硬件修改情况增加了现场实施新增金属回线纵差保护的风险。

3 EMTDC 仿真验证

利用兴安直流EMTDC仿真模型, 对金属回线区内的线路中点F3, 金属回线区外的F1和F2点分别在不同功率水平、不同过渡电阻情况下设置故障, 检验金属回线纵差保护87MLL防误动能力、抗拒动能力和瞬时故障情况下的再启动功能。故障点F1、F2、F3设置如图1所示。

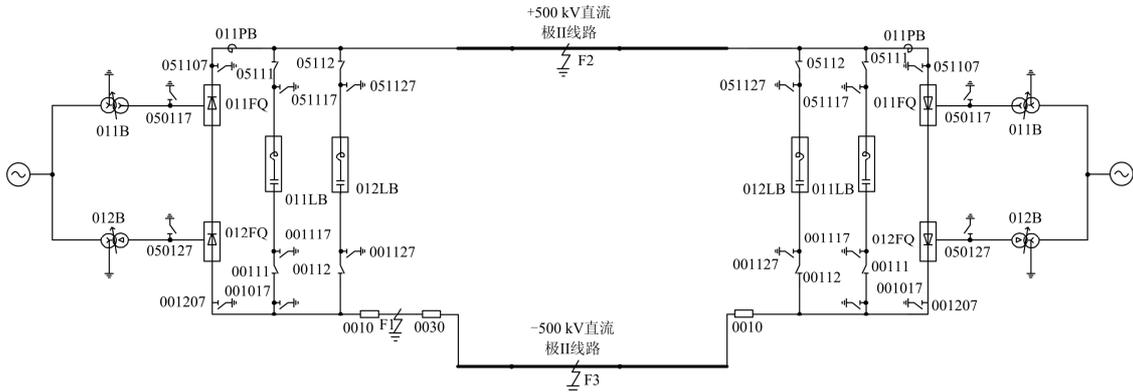
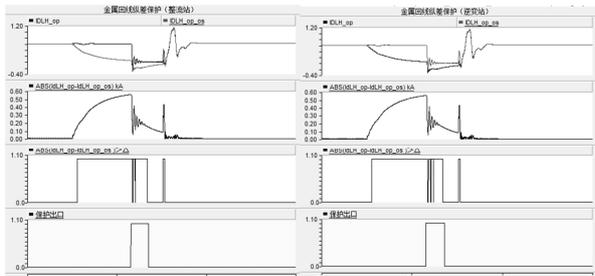


图 1 金属回线运行方式下故障位置示意图

Fig. 1 Sketch of fault location at monopolar metallic return operation

设置兴安直流EMTDC模型为极1金属回线运行方式, 功率为300 MW, 故障位置为金属回线线路中点F3, 故障过渡电阻为0.01 Ω, 故障持续时间100 ms, 故障录波如图2所示。

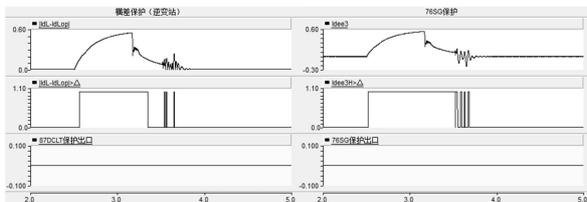
由图2可知, F2点发生故障后, $ABS(I_{dL_op} - I_{dL_op_os})$ 大于保护定值, 并且满足保护延时后, 金属回线纵差保护出口, 由极控执行由保护触发的线路故障重启逻辑^[12], 87MLL正确动作。横差保护和站内接地网过流保护定值在故障期间均满足, 保护延时不满足, 保护正确不动作。



(a) 整流站金属回线纵差保护 (b) 逆变站金属回线纵差保护

设置兴安直流EMTDC模型为极1金属回线运行方式, 功率为1500 MW, 故障位置为金属回线线路中点F3, 故障过渡电阻为0.01 Ω, 故障持续时间100 ms, 故障录波如图3所示。

由图3可见, 在传输功率1500 MW, 过渡电阻0.01 Ω故障情况下, 金属回线纵差保护动作, 执行线路故障重启; 第一次重启未成功, 87MLL再次动作, 再次请求故障重启, 在第二次重启过程中, 76SG和87DCLT保护均满足条件, 闭锁直流。试验设置故障持续时间为100 ms, 故障重启去游离时间设置为350 ms, 第一次线路重启失败的原因为金属回线运行方式下, 金属回线的电压一直较低, 故障后的去游离效果不明显, 不能有效地使故障电流熄弧。试验反映出金属回线纵差保护87MLL的重启动功能在大功率传输模式下, 对金属回线瞬时接地故障的消除作用不大。



(c) 逆变站金属回线横差保护 (d) 逆变站接地极过流保护

图 2 传输功率 300 MW, 过渡电阻 0.01 Ω故障情况下保护动作情况

Fig. 2 Protection actions when fault occurred at 300 MW and fault resistance is 0.01 Ω

为了进一步的分析87MLL保护的抗拒动能力和故障重启功能,借助EMTDC仿真模型,开展了多种故障情况下的故障仿真试验,设置故障持续时间均为100 ms,得到结果如表4所示。

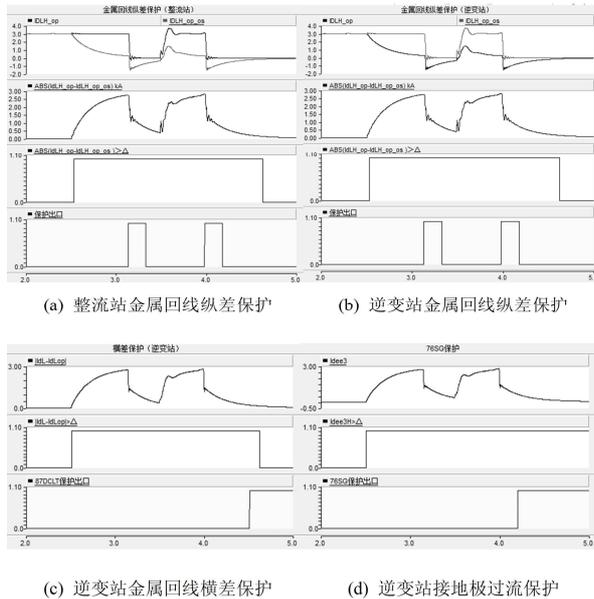


图3 传输功率1500 MW,过渡电阻0.01 Ω故障情况下保护动作情况

Fig. 3 Protection actions when fault occurred at 1500 MW and fault resistance is 0.01 Ω

表4 87MLL保护动作情况
Table 4 Protection actions of 87MLL

故障点	功率/ MW	过渡 电阻/Ω	87MLL	故障 重启	后备保护
F1	1500	0.01	不动作	—	87LV
F2	1500	0.01	不动作	—	WFPDL
F3	300	50	拒动	—	76SG
F3	600	0.01	动作	重启 成功	—
F3	900	0.01	动作	重启 成功	—
F3	1200	0.01	动作	重启 失败	76SG、 87DCLT
F3	1500	30	动作	重启 成功	—
F3	1500	50	拒动	—	76SG

由表4可知,金属回线纵差保护在区外故障时可靠不动作;区内故障时,抗高阻接地故障的能力较弱,有拒动的风险;对于大负荷情况下的低阻接地故障,存在重启不成功的风险。

4 结语

在兴安直流SIMADYN D平台下设计了保护软

件逻辑,利用EMTDC仿真模型对单极金属回线方式下,不同故障位置、不同传输功率、不同过渡电阻等工况的仿真验证,可得到如下结论:

(1) 兴安直流增加金属回线纵差保护能有效地降低金属回线瞬时接地故障导致直流闭锁的风险。

(2) 增加金属回线纵差保护需要在两站之间传输模拟量,在保护系统的各EP3板卡之间通信传输模拟量和状态量,牵涉的量较多;EP3板卡之间的新增通信信号需要对EP3编译文件修改。

(3) 金属回线纵差保护87MLL在金属回线区外故障时能可靠不动作。

(4) 部分工况下,金属回线纵差保护87MLL在金属回线瞬时接地故障后启动直流线路故障重启逻辑,可以避免直流系统不必要的闭锁。

(5) 金属回线纵差保护87MLL在过渡电阻较大情况下有拒动的风险。

(6) 大负荷条件下,87MLL动作后执行故障重启并不能有效地使故障点电流熄弧,故障点一直存在使得后备保护76SG动作将直流闭锁。

(7) 兴安直流增加金属回线纵差保护,两站保护系统之间新增通信信号需要对通信屏柜进行配置,同时需要核实光纤通道是否足够。

综合考虑现场软件修改的风险和EMTDC仿真结果,不建议在兴安直流系统增加金属回线纵差保护;为避免金属回线故障时直流无法重启,建议对兴安直流的金属回线横差保护87DCLT进行优化,将其改为两段式逻辑。保持原有的2s延时保护出口闭锁直流的逻辑不变,增加一段出口延时较短,出口结果为执行线路故障重启的保护逻辑。

参考文献

[1] 赵畹君. 高压直流输电工程技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

[2] 朱韬析, 候元文, 王超, 等. 直流输电系统单极金属回线运行方式下线路接地故障及保护研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(20): 133-138.

ZHU Tao-xi, HOU Yuan-wen, WANG Chao, et al. Research on the line faults and its protection of HVDC transmission system in metallic return operation[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(20): 133-138.

[3] 王瑶. 特高压直流输电控制与保护技术的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(15): 53-58.

WANG Yao. Study on the control and protection system of ultra high voltage direct current transmission[J]. Power

- System Protection and Control, 2009, 37(15): 53-58.
- [4] 周俊, 郭剑波, 胡涛, 等. 高压直流输电系统数字物理动态仿真[J]. 电工技术学报, 2012, 27(5): 221-228.
ZHOU Jun, GUO Jian-bo, HU Tao, et al. Digital/analog dynamic simulation for ± 500 kV HVDC transmission system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(5): 221-228.
- [5] 杨汾艳, 徐政. 直流输电系统典型暂态响应特性分析[J]. 电工技术学报, 2005, 20(3): 45-52.
YANG Fen-yan, XU Zheng. Typical transient responses in HVDC transmission system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2005, 20(3): 45-52.
- [6] 罗磊, 盛琰, 王清坚, 等. 特高压直流输电系统顺序控制的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(23): 30-38.
LUO Lei, SHENG Yan, WANG Qing-jian, et al. Research on sequence control in UHVDC system[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(23): 30-38.
- [7] 束洪春, 田鑫萃, 董俊, 等. 基于多重分形谱的高压直流输电线路区内外故障识别方法[J]. 电工技术学报, 2013, 28(1): 251-258.
SHU Hong-chun, TIAN Xin-cui, DONG Jun, et al. Recognition method of HVDC transmission line fault based on multifractal spectrum[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(1): 251-258.
- [8] SIEMENS. DC protection software design report (GG2)[Z]. Germany: SIEMENS, 2006.
- [9] SIEMENS. DC protection coordination study report (GG2) [Z]. Germany: SIEMENS, 2007.
- [10] 余江, 周红阳, 黄佳胤, 等. 南方电网直流线路横差保护的改进探讨[J]. 南方电网技术, 2008, 2(6): 22-25.
YU Jiang, ZHOU Hong-yang, HUANG Jia-yin, et al. Improvement of the DC line transversal differential protection in China Southern Power Grid[J]. Southern Power System Technology, 2008, 2(6): 22-25.
- [11] 周红阳, 刘映尚, 余江, 等. 直流输电系统再启动功能改进措施[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(19): 104-107.
ZHOU Hong-yang, LIU Ying-shang, YU Jiang, et al. Analysis and improvement of force retard function of HVDC transmission systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(19): 104-107.
- [12] 王海军, 吕鹏飞, 曾南超, 等. 贵广直流输电工程直流线路故障重启动功能研究[J]. 电网技术, 2006, 30(23): 32-35.
WANG Hai-jun, Lü Peng-fei, ZENG Nan-chao, et al. Research on DC line fault recovery sequence of Guizhou-Guangdong HVDC Project[J]. Power System Technology, 2006, 30(23): 32-35.

收稿日期: 2013-12-21

作者简介:

邬乾晋(1986-), 男, 硕士, 工程师, 从事高压直流输电控制保护系统检修维护工作; E-mail: willwqj@163.com

张楠(1978-), 男, 学士, 工程师, 从事高压直流输电控制保护系统检修维护工作;

郑伟(1984-), 男, 硕士, 工程师, 从事高压直流输电控制保护系统检修维护工作。