

母线保护对死区故障的优化解决方案

王风光,李力,吕航,丁杰,代家强,龚啸

(南京南瑞继电电气有限公司,江苏 南京 211102)

摘要:母线保护为母联死区故障设置了母联死区保护功能,没有为支路死区故障设置支路死区保护功能。介绍了现有的母联死区保护功能,提出了母线保护装置同时接入母联开关两侧的电流互感器,设置母联死区差动保护功能的改进方案,解决了母联合位死区保护没有选择性、故障切除范围大的问题。介绍了母线差动保护与线路保护在支路死区故障发生时的动作行为,指出了母线保护设置支路死区保护功能的必要性,分析了支路死区保护功能的动作行为。针对支路死区保护功能存在的误动风险提出了相应的解决方案,避免了不必要的开关跳闸,提高了母线保护动作行为的选择性。

关键词:母联死区保护;支路死区保护;母线差动保护;母线保护;继电保护

中图分类号:TM 77

文献标志码:A

DOI:10.16081/j.epae.202109014

0 引言

电网规模的日趋扩大以及电网架构的日趋复杂,对电力系统的安全稳定运行提出了更大的挑战。当发生典型的电力系统故障时,各类型继电保护装置的動作行为均能满足选择性、速动性、灵敏性及可靠性的要求,但是对于死区故障,由于保护功能自身原理以及电力系统接线方式的原因,继电保护装置尚无法同时兼顾选择性及速动性的要求,有时为了快速切除故障,不得不扩大故障切除范围,造成不必要的负荷损失。因此,死区保护功能及配置的优化是急需解决的问题^[1]。

根据被保护对象可将死区保护划分为母联死区保护及支路死区保护2类^[2-3]。母联死区保护一般配置在母线保护装置内,根据死区故障发生时母联开关位置状态可分为母联合位死区保护及母联分位死区保护2类。当发生母联合位死区故障时,死区保护不具备选择性,动作后的结果是跳开母联间隔所关联的2条母线,可能造成全站失电,事故影响范围较大;当发生母联分位死区故障时,母联死区保护具备选择性,动作后的结果是仅跳故障侧母线^[4]。支路死区保护一般仅配置在3/2接线的断路器保护装置中,因为母线保护装置不配置支路死区保护功能,所以在发生支路死区故障时,母线差动保护可能会动作跳闸,将故障支路所在母线的的所有开关跳开^[5-9]。

为了解决发生死区故障时母线保护没有选择性的问题,本文提出了一种母联死区保护的优化解决方案,并分析了该方案对现有母线保护装置的影响,

讨论了母线保护装置增设支路死区保护功能的必要性,并针对支路死区保护功能可能存在的误动风险提出了相应的解决方案。

1 母联死区保护

1.1 现有保护方案介绍

母联死区保护是指当母联开关与母联电流互感器之间发生故障时,为了快速隔离故障而设立的保护。母联死区保护配置在母线保护装置中,分为母联合位死区保护及母联分位死区保护。早期变电站中的母联间隔一般为单电流互感器配置,母联死区故障范围如图1所示。当母联开关位置为分位时,母联电流退出母线小差差动电流计算,所以当发生母联分位死区故障时,母联死区保护死区保护动作只跳母线1。当发生母联合位死区故障时,由于母联电流未退出母线小差差动电流计算,所以母线差动保护首先跳开母线2及母联开关,母联开关跳开后母联电流退出母线小差差动电流计算,然后母联死区保护动作跳开母线1。所以当发生母联合位死区故障时,母联死区保护死区保护不具备选择性,故障切除范围较大^[10-13]。

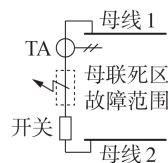


图1 单电流互感器母联死区故障范围

Fig.1 Range of bus coupler dead zone fault with single current transformer

1.2 改进的母联死区保护

目前,大部分新建厂站的母联间隔均按双电流互感器配置进行设计,所以母联双电流互感器均接入母线保护装置已具备现场应用条件。当母联双电

收稿日期:2021-01-31;修回日期:2021-07-21

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFB0900600)

Project supported by the National Key R&D Program of China (2016YFB0900600)

流互感器均接入母线保护装置时,母联死区故障范围如图2所示,通过优化母联死区保护逻辑,可以实现在发生母联合位死区故障时,母联死区保护动作只跳故障侧母线,避免了扩大故障切除范围,保证了保护的选择性。

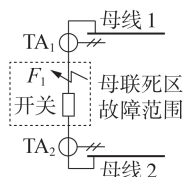


图2 双电流互感器母联死区故障范围

Fig.2 Range of bus coupler dead zone fault with double current transformers

1.2.1 母联合位死区保护

如图2所示,母联间隔配置了2组电流互感器 TA_1 及 TA_2 , TA_1 及 TA_2 的电流均接入母线保护装置。母线保护基于母联 TA_1 及 TA_2 的电流配置母联死区差动保护功能,母联 TA_1 的电流计入母线1小差差动电流计算及母联死区差动电流计算,母联 TA_2 的电流计入母线2小差差动电流计算及母联死区差动电流计算。母联死区差动保护的判据如式(1)所示,且保护经电流互感器抗饱和判据闭锁。

$$\begin{cases} |I_{TA1} + I_{TA2}| > I_{cdzl} \\ \frac{|I_{TA1} + I_{TA2}|}{|I_{TA1}| + |I_{TA2}|} > K_{zd} \end{cases} \quad (1)$$

式中: I_{TA1} 、 I_{TA2} 分别为母联 TA_1 、 TA_2 的电流; I_{cdzl} 为差动电流启动定值; K_{zd} 为比率制动系数,建议设定为0.3~0.5。

当发生母联合位死区故障时,以图2中的故障点 F_1 为例,其在母联死区差动保护范围内,在母线1、2小差差动保护范围外,所以母联死区差动保护动作,跳开母联开关,母联开关跳开后母联 TA_1 及 TA_2 电流退出对应的母线小差差动电流计算,此时 F_1 落入母线1小差差动保护的范围内,仍然在母线2小差差动保护的范围内,所以仅母线1小差差动保护动作,避免了故障切除范围的扩大。

1.2.2 母联分位死区保护

当母联开关为分位时,母联 TA_1 及 TA_2 的电流均退出对应的母线小差差动电流计算,同时母联死区差动保护闭锁。所以在双电流互感器配置下,当发生母联分位死区故障时,母联死区保护的动作为、动作特性与单电流互感器配置时一致,母线差动保护动作只跳故障侧母线,选择性不受影响。

1.2.3 影响性分析

母线保护装置接入母联间隔的双电流互感器的电流会降低现有保护装置的间隔接入能力,同时因

为母线差动保护的差动电流构成会出现一定的变化,可以对现有的母线差动保护逻辑进行一定的优化改进。

1)由于硬件资源有限,母线保护装置可接入的电流通道总数是有限的,在这种情况下,因为母联间隔的电流通道数目翻倍,所以线路和主变间隔的电流通道总数目会相应减少。以双母单分段接线为例,母联分段的间隔数目为3个,所以线路或主变间隔的可接入间隔数目会减少3个。据统计,目前主流厂家的母线保护装置可接入的间隔总数目为24个,接入母联间隔的双电流互感器电流后,可接入的间隔总数目将减少为21个,基本可以满足绝大部分厂站的间隔接入要求,对于个别规模较大的厂站,可采用数字化母线保护或分布式母线保护的方案来解决。

2)母线保护装置接入母联间隔的双电流互感器的电流后,可以对母联电流互感器断线故障的判别逻辑进行优化,具体如式(2)、(3)所示。

母联 TA_1 断线故障判据为:

$$I_{TA2} - I_{TA1} = I_{BUS1} \quad (2)$$

母联 TA_2 断线故障判据为:

$$I_{TA1} - I_{TA2} = I_{BUS2} \quad (3)$$

式中: I_{BUS1} 、 I_{BUS2} 分别为母线1、2的母小差差动电流。

当发生母联 TA_1 断线故障时,仅需要闭锁母联死区差动及母线1小差差动保护;当发生母联 TA_2 断线故障时,仅需要闭锁母联死区差动及母线2小差差动保护,降低了发生母线区内故障时母线差动保护的拒动概率。

1.3 小结

改进后的母联死区保护功能适用于母联间隔配置双电流互感器的应用场景,将母联间隔的2组电流互感器电流均接入母线保护装置后,在双电流互感器间构建母联死区差动保护功能,该功能依托成熟的母线差动保护经验,具备优良的电流互感器抗饱和性能及保护动作特性,且对现有母线差动保护的动特性不会产生任何影响;在发生母联合位死区故障时,改进后的母联死区保护功能可缩小故障切除范围,避免出现全站停电的重大事故,保证了保护的选择性。

改进后的母联死区保护功能对母线保护装置的间隔接入能力会造成一定程度的降低,但基本可适用于大多数厂站的间隔接入要求。母线差动保护的差动电流构成发生变化后,可以对母联电流互感器断线故障的判别逻辑进行改进,以实现断线电流互感器的精准定位。当发生母联电流互感器断线故障后,母线差动保护的闭锁范围变小,发生母线区内故障时母线差动保护的拒动概率降低。

2 支路死区保护

2.1 现有保护方案介绍

支路死区故障是指支路开关与支路电流互感器之间发生的故障,支路死区故障与支路电流互感器布置方式有关,分为电流互感器单侧、双侧配置2种情况,分别如图3(a)、(b)所示,死区故障范围如图中虚线框所示。当发生支路死区故障时,为了快速隔离故障,目前的处理方案为依靠母线差动保护或线路差动保护动作,跳开本侧开关的同时并远跳对侧开关^[14]。

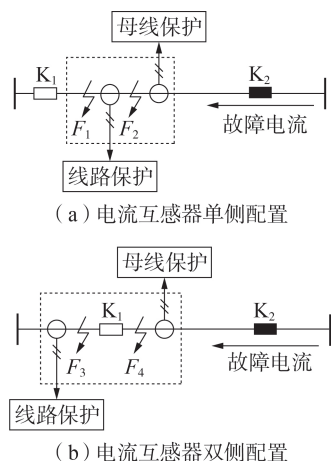


图3 2种电流互感器配置下的支路死区故障范围
Fig.3 Range of feeder dead zone fault under two kinds of current transformer configuration

对于图3(a)所示的情况,支路死区故障前开关 K_2 为合位,无论开关 K_1 为合位或分位,当 F_1 处发生故障时,母线差动保护动作,跳开 K_1 所在母线上的所有开关(包括 K_1);当 F_2 处发生故障时,母线差动保护及线路差动保护均动作,跳开 K_1 所在母线上的所有开关(包括 K_1)。母线差动保护动作的同时,向 K_1 所在母线上的所有线路间隔发送远跳命令。

对于图3(b)所示的情况,故障前开关 K_2 为合位,无论开关 K_1 为合位或分位,当 F_3 或 F_4 处发生故障时,母线差动保护及线路差动保护均动作,跳开母线上所有开关(包括 K_1)。母线差动保护动作的同时,向 K_1 所在母线上的所有线路间隔发送远跳命令。

对图3所示情况下的母线保护动作行为进行分析可知,可对母线保护在以下方面进行改进:

1)如果支路死区故障前开关 K_1 为分位,当 F_1 、 F_2 及 F_4 处发生故障时,只需要跳开开关 K_2 即可实现故障的切除,母线差动保护不需要动作,这样可以避免母线上所有开关被跳开;

2)母线差动保护动作后不需要向线路间隔发送远跳命令,可以由支路死区保护发送远跳命令,这样可以避免母线对侧开关的不必要跳闸。

为实现上述2个目标,需要为母线保护装置配置支路死区保护功能。

2.2 支路死区保护功能

支路死区保护是指支路开关与支路电流互感器之间发生故障时,为了快速隔离故障而设立的保护。当支路开关为分位时,支路电流退出母线大差及小差差动电流计算,如果检测到支路电流持续大于支路死区电流定值,则经过一定延时后支路死区保护动作远跳支路对侧开关。

如果母线保护装置配置了支路死区保护功能,则母线差动保护动作后可以不发送远跳命令,由支路死区保护及断路器失灵保护发送远跳命令。根据支路开关位置状态,支路死区保护分为支路合位死区保护及支路分位死区保护。

2.2.1 支路合位死区保护

以图4所示的2种情况为例进行分析,支路合位死区故障发生前线路正常运行,开关 K_1 、 K_2 均为合位。

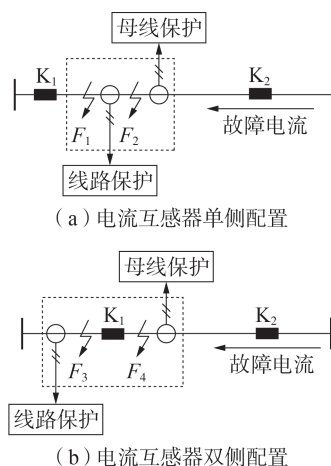


图4 2种电流互感器配置下发生支路合位死区故障
Fig.4 Feeder dead zone fault occurs when circuit breaker status is closed under two kinds of current transformer configuration

对于图4(a)所示的情况,当 F_1 处发生故障时,母线差动保护动作跳开母线上所有开关(包括 K_1),当开关 K_1 跳开后支路电流退出差动电流计算,经一定延时后由支路死区保护动作远跳开关 K_2 。当 F_2 处发生故障时,母线差动保护动作跳开母线上所有开关(包括 K_1),线路保护动作跳开开关 K_1 、 K_2 。

对于图4(b)所示的情况,当 F_3 或 F_4 处发生故障时,母线差动保护动作跳开母线上所有开关(包括 K_1),线路保护动作跳开开关 K_1 、 K_2 。

2.2.2 支路分位死区保护

以图3为例,支路分位死区故障发生前开关 K_1 热备用,开关 K_2 为合位,支路电流退出母线大差及小差差动电流计算。对于图3(a)所示的情况:当 F_1

处发生故障时,支路死区保护动作跳开开关 K_2 ;当 F_2 处发生故障时,支路死区保护及线路差动保护均动作,跳开开关 K_2 。对于图3(b)所示的情况:当 F_3 处发生故障时,母线差动保护动作跳开母线上所有开关(包括 K_1),线路保护动作跳开开关 K_1 并远跳开关 K_2 ;当 F_4 处发生故障时,支路死区保护及线路差动保护均动作,跳开 K_2 。

不同条件下发生支路死区故障时的各保护动作行为如表1所示。表中,“√”、“×”分别表示保护动作和不动作。

表1 不同条件下发生支路死区故障时的保护动作行为

Table 1 Operating behavior of protections when feeder dead zone fault occurs under different conditions

故障前 K_1 状态	故障点	母线差动 保护	线路差动 保护	支路死区 保护
合位	F_1	√	×	√
合位	F_2	√	√	√
合位	F_3	√	√	√
合位	F_4	√	√	√
分位	F_1	×	×	√
分位	F_2	×	√	√
分位	F_3	√	√	√
分位	F_4	×	√	√

由表1可知支路死区保护具备如下优点:

1)支路死区故障发生前,如果支路开关为合位,虽然母线差动保护也会动作,但是不需要向线路间隔发送远跳命令,从而减少了不必要的开关跳闸;

2)支路死区故障发生前,如果支路开关为分位,在绝大多数情况下,母线差动保护不会动作,由支路死区保护动作后远跳对侧开关,实现死区故障的切除,极大地减少了不必要的开关跳闸。

2.2.3 误动风险分析

支路死区保护对于开关位置的可靠性及实时性要求较高,开关辅助接点的位置错误可能导致支路电流误退出母线差动电流计算,开关辅助接点与一次位置的不同步可能导致支路电流不能快速计入母线差动电流,这2种情况均有可能引起母线差动保护误动,所以需要考虑一定的防误措施。

1)开关合位时因位置错误导致母线差动保护误动的情况如图5所示,支路死区故障发生前线路开关 K_1 及 K_2 均为合位,线路负荷电流较小。如果开关 K_1 的辅助接点误变为分位,则根据支路死区保护逻

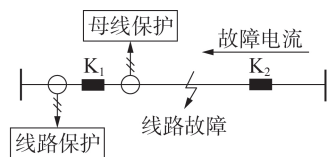


图5 开关合位时因位置错误导致母线差动保护误动

Fig.5 Maloperation of busbar differential protection due to mistake of circuit breaker closed status

辑,线路电流将误退出母线大差及小差差动电流计算,且由于该线路负荷电流较小,因为误退差动电流计算所产生的差流较小,低于母线保护电流互感器断线报警的电流定值门槛,所以母线保护未发错电流互感器断线报警信号。此时如果发生线路故障,则母线差动保护将误动作,切除 K_1 开关所在母线。

为防止此类事故发生,可以将开关辅助接点的常开、常闭节点均接入母线保护装置,开关分位的判别逻辑如表2所示。

表2 开关分位判别逻辑

Table 2 Discriminant logic of circuit breaker open status

分位常开接点	分位常闭接点	开关状态
1	0	分位
0	1	合位
0	0	合位
1	1	合位

采用如表2所示的判别逻辑,在不考虑开关双位置接点均错误的前提下,开关位置错误不会导致母线差动保护误动。

2)开关分位时因位置错误导致母线差动保护误动的情况如图6所示。支路死区故障发生前 K_1 及 K_2 开关均为分位,线路电流退出母线大差及小差差动电流计算。当对开关 K_1 进行合闸操作时,由于开关辅助接点变位时刻落后于与开关主触头由分变合的时刻,当合闸到线路故障时,母线差动保护将误动作,切除开关 K_1 所在母线。

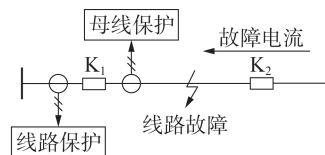


图6 开关分位时因位置错误导致母线差动保护误动

Fig.6 Maloperation of bus differential protection caused by mistake of circuit breaker open status

为防止此类事故发生,需要将开关合闸开入接入母线保护装置,开入正翻转时序如图7所示。合闸开入接点由0变1的时刻早于开关一次位置由分变合的时刻,可保证支路电流及时计入母线差动电流,避免发生合闸于线路故障时母线差动保护误动。

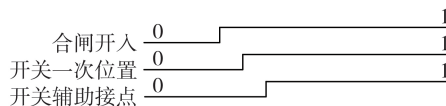


图7 开入正翻转时序

Fig.7 Positive flip timing of binary input status

2.3 小结

母线保护装置配置支路死区保护功能后,支路死区保护可代替母线差动保护向支路对侧发送远跳

命令。当发生支路合位死区故障时,虽然母线差动保护也会动作,但是只需要远跳故障支路的对侧开关;当发生支路分位死区故障时,母线差动保护不会动作,只需要远跳故障支路的对侧开关,从而避免了不必要的开关跳闸。

支路死区保护对于开关位置的可靠性及实时性要求较高,建议接入开关的双位置接点,以避免因开关位置错误导致母线差动保护误动,且应当接入支路合闸开入接点,以防止合闸于故障时母线差动保护误动。

在国外电力系统内,支路死区保护功能一般为母线保护装置的标准功能配置,这与国外电力系统的管理方式有一定的关系。这些国家的电力系统由多个电力公司或发电集团分散管理,所以当母线差动保护动作时,不允许直接远跳母线对侧开关,只有在支路死区保护动作或支路失灵保护动作时,才允许远跳对应支路的对侧开关,以减少不必要的开关跳闸。

3 结论

通过对母联死区保护功能进行改进,并为母线保护增设支路死区保护功能,提高了发生死区故障时母线保护动作行为的选择性,避免了不必要的开关跳闸,缩小了事故影响范围。

改进后的母联死区保护功能要求母线保护装置接入母联的双电流互感器电流,支路死区保护功能需要接入各支路的开关位置及合闸开入信号,增加了母线保护装置的模拟量及开关量接入数量,在一定程度上降低了母线保护装置的间隔接入能力,但是仍然可以满足绝大多数厂站的间隔接入要求。对于个别规模较大的厂站,可以考虑采用数字化母线保护方案或分布式母线保护方案来解决,以降低模拟量或开关量接入数量的增加对母线保护间隔接入能力的影响。

包含上述2种保护功能的母线保护装置已完成开发,并已成功在英国、巴西、印度等国家投入使用。对于国内电力系统而言,改进后的母联合位死区保护功能具有一定的推广价值,后续需要获得用户对该功能的认可,实现在国内的成功应用,支路死区保护功能也能够提高母线保护装置的选择性,但由于该功能对于开关位置的可靠性及实时性要求较高,存在一定的误动风险,所以需要对该功能的性价比进行综合评估后再适时推动现场应用。

参考文献:

- [1] 陈国平,王玉玲,王德林,等.基于站域信息缩短3/2接线失灵(死区)故障切除时间的策略[J].电力系统自动化,2018,42(21):119-124.
CHEN Guoping, WANG Yuling, WANG Delin, et al. Strategy

- of shortening circuit breaker failure and dead zone removal time for 3/2 breaker connection based on substation area information[J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(21):119-124.
- [2] 吴雨,柯联锦.高压电网死区保护研究综述[J].电力系统保护与控制,2017,45(6):148-154.
WU Yu, KE Lianjin. A survey of relay protection for high voltage dead-zone fault[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(6):148-154.
- [3] 赵佰成,徐炜彬,曲绍杰.220 kV典型保护死区问题的探讨[J].电力系统保护与控制,2010,38(13):130-132.
ZHAO Baicheng, XU Weibin, QU Shaojie. Discussion about the problem of 220 kV typical protection's dead-zone[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(13):130-132.
- [4] 刘枫,李晓方,秦莉敏,等.针对辐射型电网母联死区故障的保护改进设计[J].电力系统自动化,2013,37(22):122-124.
LIU Feng, LI Xiaofang, QIN Limin, et al. Protection improvement design for bus coupler dead-zone fault of radiation grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(22):122-124.
- [5] 余江,周红阳,陈朝晖,等.计及系统稳定需求的500 kV断路器失灵及死区保护优化[J].电力系统自动化,2015,39(2):142-146.
YU Jiang, ZHOU Hongyang, CHEN Zhaohui, et al. Improvement of 500 kV breaker failure and dead-zone prevention based on requirement on stability of grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(2):142-146.
- [6] 王金健,王志新.一种具有限流能力的新型混合式高压直流断路器拓扑[J].电力自动化设备,2019,39(10):143-149.
WANG Jinjian, WANG Zhixin. A novel hybrid high-voltage DC circuit breaker topology with current limiting capability[J]. Electric Power Automation Equipment, 2019, 39(10):143-149.
- [7] LI Zhengtian, TONG Ning, LIN Xiangning, et al. Enhanced summation impedance relay for EHV transmission lines[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2019, 34(3):807-818.
- [8] 孙棚,王华伟,雷霄,等.架空线柔性直流电网的直流短路电流限制研究[J].电力自动化设备,2017,37(2):219-223.
SUN Xu, WANG Huawei, LEI Xiao, et al. Restriction of DC short circuit current for overhead lines of flexible DC grid[J]. Electric Power Automation Equipment, 2017, 37(2):219-223.
- [9] 孔飞,张保会,王艳婷,等.超高速直流输电线路保护方向元件[J].电力自动化设备,2014,34(8):83-88.
KONG Fei, ZHANG Baohui, WANG Yanting, et al. Ultra-high-speed directional element of relay protection for HVDC transmission line[J]. Electric Power Automation Equipment, 2014, 34(8):83-88.
- [10] 郑建梓,陈东海.3/2断路器接线的保护死区分析[J].浙江电力,2007,26(3):54-56.
ZHENG Jianzi, CHEN Donghai. Discussion on protection's dead zone for 3/2 breaker connection[J]. Zhejiang Electric Power, 2007, 26(3):54-56.
- [11] 刘志学,单鸿旭,李诗华.高压电力系统死区保护的一种实现方法[J].电工技术,2010(12):52-54.
- [12] 李一泉,吴梓亮,王峰,等.基于Hausdorff距离算法的自适应线路差动保护方案[J].电力自动化设备,2019,39(7):175-180.
LI Yiquan, WU Ziliang, WANG Feng, et al. Self-adaptive differential protection scheme for transmission line based on Hausdorff distance algorithm[J]. Electric Power Automation Equipment, 2019, 39(7):175-180.
- [13] 陈雷,高厚磊,樊占峰.分布式母线差动保护耐同步误差能力分析[J].电力自动化设备,2018,38(9):205-211.
CHEN Lei, GAO Houlei, FAN Zhanfeng. Analysis of synchro-

nization error enduring capacity of distributed bus-bar current differential protection[J]. Electric Power Automation Equipment, 2018, 38(9): 205-211.

- [14] 夏经德,秦瑞敏,钱慧芳,等. 多端线路差动保护改进算法的研究[J]. 电力自动化设备, 2018, 38(12): 140-147.

XIA Jingde, QIN Ruimin, QIAN Huifang, et al. Study on improved algorithm in differential protection of multi-terminal line[J]. Electric Power Automation Equipment, 2018, 38(12): 140-147.



王风光

方向为电力系统继电保护(E-mail: wangfg@nrec.com);

李 力(1970—),男,江苏南京人,研究员级高级工程师,硕士,从事电力系统继电保护研究与开发工作(E-mail: lili@nrec.com);

吕 航(1971—),男,江苏南京人,研究员级高级工程师,硕士,从事电力系统继电保护方面的研究与开发工作(E-mail: lvh@nrec.com)。

作者简介:

王风光(1981—),男,山东聊城人,高级工程师,硕士,研究

(编辑 任思思)

Optimized solution scheme of bus protection for dead zone fault

WANG Fengguang, LI Li, LÜ Hang, DING Jie, DAI Jiaqiang, GONG Xiao

(NR Electric Co., Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: Bus protection configures bus coupler dead zone protection for bus coupler dead zone fault, but not configures feeder dead zone protection for feeder dead zone fault. The existing bus coupler dead zone protection is introduced, and an optimized solution scheme is proposed, in which the current transformers on both sides of bus coupler are connected with bus protection simultaneously, and the bus coupler dead zone differential protection is set. The problem that bus coupler dead zone protection does not have selectivity and its fault cut range is large, is solved by the propose scheme. The operating behavior of the bus differential protection and line protection when feeder dead zone fault occurs is introduced, the necessity of configuring feeder dead zone protection for bus protection is pointed out, and the operating behavior of the feeder dead zone protection is analyzed. Then the corresponding solution for maloperation risk of the feeder dead zone protection is proposed, which avoids unnecessary circuit breaker tripping and improves the selectivity of the bus protection.

Key words: bus coupler dead zone protection; feeder dead zone protection; bus differential protection; bus protection; relay protection

(上接第218页 continued from page 218)

Reliability evaluation model of multi-terminal DC circuit breaker and its application

WANG Tianlin¹, YANG Moyuan², GAO Chong¹, CAO Huazhen¹, WU Yaxiong¹,

ZHANG Zhen², OUYANG Sen²

(1. Power System Planning Research Center of Guangdong Power Grid Co., Ltd., Guangzhou 510030, China;

2. School of Electric Power, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: MTCB (Multi-Terminal DC Circuit Breaker) is the core equipment to realize the connection and fault isolation of multi-terminal converter station in the future, and its reliability directly affects the reliability level of multi-terminal DC distribution network. Firstly, the topology and working principle of MTCB are analyzed. Then, taking the three-terminal hybrid DC circuit breaker in Zhuhai "Internet plus" demonstration project as an example, based on the engineering reliability principle and considering the redundancy level of devices, MTCB reliability evaluation model is established. The influence of MTCB on the reliability of multi-terminal DC distribution network is analyzed. Finally, based on the structure of Tangjiawan three-terminal DC distribution network, the reliability of MTCB under different design modes and redundancy levels is calculated. The influence analysis and sensitivity analysis of MTCB on the reliability of multi-terminal DC distribution network are carried out, and the correctness and effectiveness of the proposed model are verified.

Key words: multi-terminal; DC circuit breaker; DC distribution network; reliability evaluation; redundancy analysis