(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109375054 A
(43)申请公布日 2019.02.22

(21)申请号 201811122761.9

(22)申请日 2018.09.26

(71)申请人 南方电网科学研究院有限责任公司
地址 510670 广东省广州市黄埔区科学城科翔路11号

(72)发明人 曹润彬 李明 黄伟煌 郭铸 李岩 许树楷 刘涛

(74)专利代理机构 广州三环专利商标代理有限公司 44202
代理人 麦小婵 郝传鑫

(51)Int.Cl.
G01R 31/08(2006.01)

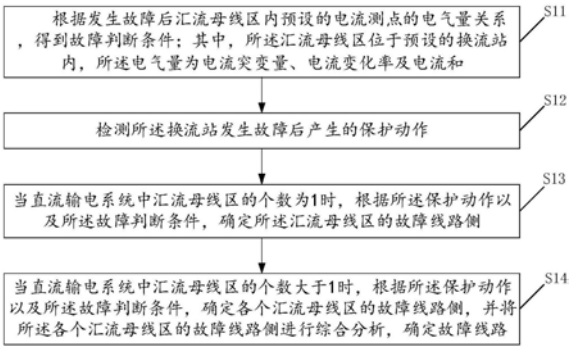
权利要求书2页 说明书9页 附图6页

(54)发明名称

一种直流输电系统的故障选线方法

(57)摘要

本发明公开了一种直流输电系统的故障选线方法，包括：根据发生故障后汇流母线区内预设的电流测点的电气量关系，得到故障判断条件；其中，汇流母线区位于预设的换流站内，电气量为电流突变量、变化率及电流和；检测换流站发生故障后产生的保护动作；当直流输电系统中汇流母线区的个数为1时，根据保护动作以及故障判断条件，确定汇流母线区的故障线路侧；当直流输电系统中汇流母线区的个数大于1时，根据保护动作以及故障判断条件，确定各个汇流母线区的故障线路侧，并将各个汇流母线区的故障线路侧进行综合分析，确定故障线路，能有效解决直流输电系统中由于线路边界特性不明确及直流线路保护动作已发生的情况下，难以确定故障线路的问题。



CN 109375054 A

1.一种直流输电系统的故障选线方法,其特征在于,包括:

根据发生故障后汇流母线区内预设的电流测点的电气量关系,得到故障判断条件;其中,所述汇流母线区位于预设的换流站内,所述电气量为电流突变量、电流变化率及电流和;

检测所述换流站发生故障后产生的保护动作;

当直流输电系统中汇流母线区的个数为1时,根据所述保护动作以及所述故障判断条件,确定所述汇流母线区的故障线路侧;

当直流输电系统中汇流母线区的个数大于1时,根据所述保护动作以及所述故障判断条件,确定各个汇流母线区的故障线路侧,并将所述各个汇流母线区的故障线路侧进行综合分析,确定故障线路。

2.如权利要求1所述的直流输电系统的故障选线方法,其特征在于,所述故障判断条件为故障线路侧的电流突变量与变化量为负值、所述汇流母线区的其他线路侧的电流突变量与变化率为正值、且所述汇流母线区的所有线路侧的电流之和满足基尔霍夫电流定律。

3.如权利要求1所述的直流输电系统的故障选线方法,其特征在于,所述检测所述换流站发生故障后产生的保护动作,具体为:

所述保护动作为线路保护动作及极保护动作;

当接收到线路保护装置发送的信号时,确定当前保护动作为线路保护动作;

当接收到极保护装置发送的信号时,确定当前保护动作为极保护动作。

4.如权利要求2和3所述的直流输电系统的故障选线方法,其特征在于,所述当直流输电系统中汇流母线区的个数为1时,根据所述保护动作以及所述故障判断条件,确定所述汇流母线区的故障线路侧,具体为:

当在故障后预设的时间内检测到所述换流站产生线路保护动作、未检测到所述换流站产生极保护动作、且检测到所述汇流母线区的电气量关系满足所述故障判断条件时,则判断满足所述电流突变量与变化量为负值的条件对应的线路侧为所述汇流母线区的故障线路侧,得到第一故障选线结果,并将所述第一故障选线结果发送至极控装置。

5.如权利要求4所述的直流输电系统的故障选线方法,其特征在于,所述方法还包括:

所述极控装置接收所述第一故障选线结果,对所述汇流母线区的故障线路侧进行重启;

当检测到所述故障线路侧重启成功时,所述输电系统恢复运行;

当检测到所述故障线路侧重启不成功且达到预设的重启次数时,对所述故障路线侧进行隔离操作。

6.如权利要求4所述的直流输电系统的故障选线方法,其特征在于,所述方法还包括:

当任意时刻检测到所述换流站产生极保护动作,或者未检测到所述换流站产生线路保护动作时,则判断所述汇流母线区内的线路侧为非故障线路。

7.如权利要求4所述的直流输电系统的故障选线方法,其特征在于,所述方法还包括:

当在故障后预设的时间内检测到所述换流站产生线路保护动作、未检测到所述换流站产生极保护动作、且检测到所述汇流母线区的电气量关系不满足所述故障判断条件时,则判断所述汇流母线区内的线路侧为非故障线路。

8.如权利要求4所述的直流输电系统的故障选线方法,其特征在于,所述方法还包括:

当检测到当前的操作时长超过所述预设的时间阈值时，重新检测所述换流站发生故障后产生的保护动作；其中，所述操作时长为输电系统故障时刻至当前时刻的时长。

9.如权利要求2和3所述的直流输电系统的故障选线方法，其特征在于，所述当直流输电系统中汇流母线区的个数大于1时，根据所述保护动作以及所述故障判断条件，确定各个汇流母线区的故障线路侧，并将所述各个汇流母线区的故障线路侧进行综合分析，确定故障线路，具体为：

当在故障后预设的时间内检测到所述换流站产生线路保护动作、未检测到所述换流站产生极保护动作、且检测到所述汇流母线区的电气量关系满足所述故障判断条件时，则判断满足所述电流突变量与变化量为负值的条件对应的线路侧为故障线路侧，得到各个汇流母线区的故障线路侧；

将所述各个汇流母线区的故障线路侧进行综合分析，确定故障线路，并得到第二故障选线结果，将所述第二故障选线结果发送至极控装置。

10.如权利要求9所述的直流输电系统的故障选线方法，其特征在于，所述方法还包括：

所述极控装置接收所述第二故障选线结果，对所述故障线路进行重启；

当检测到所述故障线路重启成功时，所述输电系统恢复运行；

当检测到所述故障线路重启不成功且达到预设的重启次数时，对所述故障路线进行隔离操作。

一种直流输电系统的故障选线方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电力系统技术领域，尤其涉及一种直流输电系统的故障选线方法。

背景技术

[0002] 直流输电系统故障多数为直流线路故障。在两端直流输电系统中，当直流线路故障为瞬时性故障，在直流线路保护判断出故障并出口后，通常采用直流故障重启策略，即将直流线路电流降为零，直流电压降至零甚至负压，来实现去游离清除瞬时性故障的目的。但当线路故障为永久性故障，则需要在重启失败且达到最大允许重启次数后，闭锁直流系统。

[0003] 多端直流输电系统根据接线方式，可分为并联型、串联型、级联型和混合型几种拓扑结构。从调节范围、故障运行方式、绝缘配合及扩建灵活性等角度考虑，采用并联型有较大优势。在并联型多端直流输电系统中，当不同直流线路两端可以考虑安装直流高速开关，用以在线隔离永久性故障线路，使得其他线路和换流站尽快恢复运行，尽可能减小系统停运。直流高速开关不具备直流电流开断能力，造价相对便宜，只能在直流小电流情况下实现快速分闸，通常应用于采用混合型或者全桥型子模块的柔直换流站，构成多端混合直流输电系统。在多端混合直流输电系统中，通常送端采用常规直流、受端采用柔性直流，

[0004] 将常规直流输电技术较低造价和运行损耗的优势，与柔性直流输电技术在动态无功支撑、交直流故障穿越能力等方面的技术优势相结合，可以避免换相失败的风险、改善受端直流多馈入问题，并且具有造价低、节省直流落点占地等优势。

[0005] 在直流系统中，直流线路经汇流母线直接互连，平波电抗器通常安装于换流站高压极母线上，难以根据直流线路的边界特性区分相邻线路故障。因此，直流线路保护动作后，不能准确判断是本条线路故障还是下一级相邻线路故障。

发明内容

[0006] 本发明实施例提供一种直流输电系统的故障选线方法，能有效解决现有技术存在混合直流输电系统中由于线路边界特性不明确及直流线路保护难以确保选择性的情况下，难以准确选择故障线路的问题，以确保故障隔离以及非故障线路和换流站尽快恢复运行。

[0007] 本发明一实施例提供一种直流输电系统的故障选线方法，包括：

[0008] 根据发生故障后汇流母线区内预设的电流测点的电气量关系，得到故障判断条件；其中，所述汇流母线区位于预设的换流站内，所述电气量为电流突变量、电流变化率及电流和；

[0009] 检测所述换流站发生故障后产生的保护动作；

[0010] 当直流输电系统中汇流母线区的个数为1时，根据所述保护动作以及所述故障判断条件，确定所述汇流母线区的故障线路侧；

[0011] 当直流输电系统中汇流母线区的个数大于1时，根据所述保护动作以及所述故障判断条件，确定各个汇流母线区的故障线路侧，并将所述各个汇流母线区的故障线路侧进行综合分析，确定故障线路。

[0012] 作为上述方案的改进，所述故障判断条件为故障线路侧的电流突变量与变化量为负值、所述汇流母线区的其他线路侧的电流突变量与变化率为正值、且所述汇流母线区的所有线路侧的电流之和满足基尔霍夫电流定律。

[0013] 作为上述方案的改进，所述检测所述换流站发生故障后产生的保护动作，具体为：

[0014] 所述保护动作为线路保护动作及极保护动作；

[0015] 当接收到线路保护装置发送的信号时，确定当前保护动作为线路保护动作；

[0016] 当接收到极保护装置发送的信号时，确定当前保护动作为极保护动作。

[0017] 作为上述方案的改进，所述当直流输电系统中汇流母线区的个数为1时，根据所述保护动作以及所述故障判断条件，确定所述汇流母线区的故障线路侧，具体为：

[0018] 当在故障后预设的时间内检测到所述换流站产生线路保护动作、未检测到所述换流站产生极保护动作、且检测到所述汇流母线区的电气量关系满足所述故障判断条件时，则判断满足所述电流突变量与变化量为负值的条件对应的线路侧为所述汇流母线区的故障线路侧，得到第一故障选线结果，并将所述第一故障选线结果发送至极控装置。

[0019] 作为上述方案的改进，所述方法还包括：

[0020] 所述极控装置接收所述第一故障选线结果，对所述汇流母线区的故障线路侧进行重启；

[0021] 当检测到所述故障线路侧重启成功时，所述输电系统恢复运行；

[0022] 当检测到所述故障线路侧重启不成功且达到预设的重启次数时，对所述故障路线侧进行隔离操作。

[0023] 作为上述方案的改进，所述方法还包括：

[0024] 当任意时刻检测到所述换流站产生极保护动作，或者未检测到所述换流站产生线路保护动作时，则判断所述汇流母线区内的线路侧为非故障线路。

[0025] 作为上述方案的改进，所述方法还包括：

[0026] 当在故障后预设的时间内检测到所述换流站产生线路保护动作、未检测到所述换流站产生极保护动作、且检测到所述汇流母线区的电气量关系不满足所述故障判断条件时，则判断所述汇流母线区内的线路侧为非故障线路。

[0027] 作为上述方案的改进，所述方法还包括：

[0028] 当检测到当前的操作时长超过所述预设的时间阈值时，重新检测所述换流站发生故障后产生的保护动作；其中，所述操作时长为输电系统故障时刻至当前时刻的时长。

[0029] 作为上述方案的改进，所述当直流输电系统中汇流母线区的个数大于1时，根据所述保护动作以及所述故障判断条件，确定各个汇流母线区的故障线路侧，并将所述各个汇流母线区的故障线路侧进行综合分析，确定故障线路，具体为：

[0030] 当在故障后预设的时间内检测到所述换流站产生线路保护动作、未检测到所述换流站产生极保护动作、且检测到所述汇流母线区的电气量关系满足所述故障判断条件时，则判断满足所述电流突变量与变化量为负值的条件对应的线路侧为故障线路侧，得到各个汇流母线区的故障线路侧；

[0031] 将所述各个汇流母线区的故障线路侧进行综合分析，确定故障线路，并得到第二故障选线结果，将所述第二故障选线结果发送至极控装置。

[0032] 作为上述方案的改进，所述方法还包括：

[0033] 所述极控装置接收所述第二故障选线结果，对所述故障线路进行重启；

[0034] 当检测到所述故障线路重启成功时，所述输电系统恢复运行；

[0035] 当检测到所述故障线路重启不成功且达到预设的重启次数时，对所述故障路线进行隔离操作。

[0036] 与现有技术相比，本发明实施例公开的一种直流输电系统的故障选线方法，根据发生故障后汇流母线区内预设的电流测点的电气量关系，得到故障判断条件；其中，所述汇流母线区位于预设的换流站内，所述电气量为电流突变量、电流变化率及电流和，检测所述换流站发生故障后产生的保护动作，当直流输电系统中汇流母线区的个数为1时，根据所述保护动作以及所述故障判断条件，确定所述汇流母线区的故障线路侧，当直流输电系统中汇流母线区的个数大于1时，根据所述保护动作以及所述故障判断条件，确定各个汇流母线区的故障线路侧，并将所述各个汇流母线区的故障线路侧进行综合分析，确定故障线路，能有效解决现有技术存在混合直流输电系统中由于线路边界特性不明确及直流线路保护难以确保选择性的情况下，难以准确选择故障线路的问题，能有效确保故障隔离以及非故障线路和换流站尽快恢复运行。

附图说明

[0037] 图1是本发明一实施例提供的一种直流输电系统的换流站站间通信示意图；

[0038] 图2是本发明一实施例提供的一种直流输电系统的故障选线方法的流程示意图；

[0039] 图3是本发明一实施例提供的多端混合直流输电系统的电路结构示意图；

[0040] 图4是本发明一实施例提供的多端混合直流输电系统的故障选线过程示意图；

[0041] 图5是本发明一实施例提供的多端混合直流输电系统的故障选线逻辑图。

具体实施方式

[0042] 下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

[0043] 参见图1，是本发明一实施例提供的一种直流输电系统的换流站站间通信示意图。

[0044] 优选地，该直流输电系统包括M+N个换流站，由M个整流站，N个逆变站组成；每个换流站包括极控装置、线路保护装置及极保护装置；其中，所述极控装置两两之间建立通信连接，所述换流站线路保护装置两两之间建立通信连接，所述换流站内极保护装置与本站线路保护装置建立通信连接，所述换流站内极保护装置与本站极控装置之间建立通信连接，所述换流站内线路保护装置与本站极控装置之间建立通信连接；其中，M与N均为大于或等于1的整数，M+N为大于或等于3的整数。

[0045] 例如，如图1的直流输电系统包括3个换流站，由1个整流站，2个逆变站组成；分别为整流站A、逆变站B与逆变站C。

[0046] 参见图2，是本发明一实施例提供的一种直流输电系统的故障选线方法的流程示意图，包括：

[0047] S11、根据发生故障后汇流母线区内预设的电流测点的电气量关系，得到故障判断

条件;其中,所述汇流母线区位于预设的换流站内,所述电气量为电流突变量、电流变化率及电流和。

[0048] 其中,该故障判断条件包括故障线路侧的电流突变量与变化量为负值,所述汇流母线区的其他线路侧的电流突变量与变化率为正值,且所述汇流母线区的所有线路侧的电流之和满足基尔霍夫电流定律。

[0049] 优选地,不同直流线路连接于汇流母线,该汇流母线位于某一个换流站站内。

[0050] 可以理解的是,根据故障后整流站移相之前,汇流母线区多个电流测点的突变量、变化率及电流和的关系,给出电气量判断结果,发生故障的线路侧电流突变量与变化率为负值,非故障线路与换流站出口电流的突变量与变化率为正值,且电流之和满足基尔霍夫电流定律,应接近于零。

[0051] S12、检测所述换流站发生故障后产生的保护动作。

[0052] 具体地,步骤S12为:

[0053] 所述保护动作为线路保护动作及极保护动作;

[0054] 当接收到线路保护装置发送的信号时,确定当前保护动作为线路保护动作;

[0055] 当接收到极保护装置发送的信号时,确定当前保护动作为极保护动作。

[0056] 其中,需要考虑站间通信延时,在整流站移相去游离过程中完成。

[0057] S13、当直流输电系统中汇流母线区的个数为1时,根据所述保护动作以及所述故障判断条件,确定所述汇流母线区的故障线路侧。

[0058] 具体地,步骤S13包括:

[0059] 当在故障后预设的时间内检测到所述换流站产生线路保护动作、未检测到所述换流站产生极保护动作、且检测到所述汇流母线区的电气量关系满足所述故障判断条件时,则判断满足所述电流突变量与变化量为负值的条件对应的线路侧为所述汇流母线区的故障线路侧,得到第一故障选线结果,并将所述第一故障选线结果发送至极控装置。

[0060] 可以理解的是,如果该系统存在单个汇流母线区,若满足有任意线路保护动作,且各站无极保护或阀组保护动作,单条线路电流突变量与变化率为负值,其他线路与换流站出口电流的突变量与变化率为正值,且电流之和满足基尔霍夫电流定律则可确定故障位于电流突变量与变化率为负值的那条线路,并将故障选线结果通知给各站极控。需要在第一次去游离结束前完成。

[0061] 进一步的,步骤S13还包括:

[0062] 所述极控装置接收所述第一故障选线结果,对所述汇流母线区的故障线路侧进行重启;

[0063] 当检测到所述故障线路侧重启成功时,所述输电系统恢复运行;

[0064] 当检测到所述故障线路侧重启不成功且达到预设的重启次数时,对所述故障路线侧进行隔离操作。

[0065] 在一种可选的实施例中,所述方法还包括:

[0066] 当任意时刻检测到所述换流站产生极保护动作,或者未检测到所述换流站产生线路保护动作时,则判断所述汇流母线区内的线路侧为非故障线路。

[0067] 在一种可选的实施例中,所述方法还包括:

[0068] 当在故障后预设的时间内检测到所述换流站产生线路保护动作、未检测到所述换

流站产生极保护动作、且检测到所述汇流母线区的电气量关系不满足所述故障判断条件时，则判断所述汇流母线区内的线路侧为非故障线路。

[0069] 在一种可选的实施例中，所述方法还包括：

[0070] 当检测到当前的操作时长超过所述预设的时间阈值时，重新检测所述换流站发生故障后产生的保护动作；其中，所述操作时长为输电系统故障时刻至当前时刻的时长。

[0071] S14、当直流输电系统中汇流母线区的个数大于1时，根据所述保护动作以及所述故障判断条件，确定各个汇流母线区的故障线路侧，并将所述各个汇流母线区的故障线路侧进行综合分析，确定故障线路。

[0072] 具体地，步骤S14为：

[0073] 当在故障后预设的时间内检测到所述换流站产生线路保护动作、未检测到所述换流站产生极保护动作、且检测到所述汇流母线区的电气量关系满足所述故障判断条件时，则判断满足所述电流突变量与变化量为负值的条件对应的线路侧为故障线路侧，得到各个汇流母线区的故障线路侧；

[0074] 将所述各个汇流母线区的故障线路侧进行综合分析，确定故障线路，并得到第二故障选线结果，将所述第二故障选线结果发送至极控装置。

[0075] 可以理解的是，如果该系统存在多个汇流母线区，则可确定故障位于电流突变量与变化率为负值的那条线路侧，并需结合多个汇流母线区的判断结果，来进一步定位故障线路，并将故障选线结果通知给各站极控。需要在第一次去游离结束前完成。

[0076] 进一步的，步骤S14还包括：

[0077] 所述极控装置接收所述第二故障选线结果，对所述故障线路进行重启；

[0078] 当检测到所述故障线路重启成功时，所述输电系统恢复运行；

[0079] 当检测到所述故障线路重启不成功且达到预设的重启次数时，对所述故障路线进行隔离操作。

[0080] 本实施例中，根据发生故障后汇流母线区内预设的电流测点的电气量关系，得到故障判断条件，其中，所述汇流母线区位于预设的换流站内，所述电气量为电流突变量、电流变化率及电流和，检测所述换流站发生故障后产生的保护动作，当直流输电系统中汇流母线区的个数为1时，根据所述保护动作以及所述故障判断条件，确定所述汇流母线区的故障线路侧，当直流输电系统中汇流母线区的个数大于1时，根据所述保护动作以及所述故障判断条件，确定各个汇流母线区的故障线路侧，并将所述各个汇流母线区的故障线路侧进行综合分析，确定故障线路，能有效解决现有技术难以根据直流线路边界特性特性区分相邻线路故障的问题，以及有效解决直流线路保护工作后，不能准确判断是本条线路故障还是下一级相邻线路故障的问题，能有效确保故障隔离以及非故障线路和换流站尽快恢复运行，具有较强的可操作性。

[0081] 在另一优选实施例中，在上述实施例的基础上，该直流输电系统的故障选线方法应用于多端混合直流输电系统。

[0082] 参见图3是本发明一实施例提供的多端混合直流输电系统的电路结构示意图，该系统包括：4个换流站，可以由1个整流站、3个逆变站组成。图中，站A为整流站、站B、站C、站D为逆变站。其中，整流站A的换流器为LCC型，逆变站B、逆变站C、逆变站D的换流器均为VSC型。整流站A与逆变站B之间靠直流线路L1连接，逆变站B和逆变站C之间靠直流线路L2连接，

逆变站C与逆变站D之间靠直流线路L3连接。所述不同直流线路连接于汇流母线，所述汇流母线BUS1位于逆变站B内，所述汇流母线BUS2位于逆变站C站内。

[0083] 电流测点IdL、IdL2、IdLB位于逆变站B汇流母线BUS1区域，分别检测L1靠近逆变站B侧线路电流、L2靠近逆变站B侧线路电流和逆变站 B线路出口电流。

[0084] 电流测点IdL3、IdL4、IdLC位于逆变站C汇流母线BUS2区域，分别检测L2靠近逆变站C侧线路电流、L3靠近逆变站C侧线路电流和逆变站C线路出口电流。

[0085] 参见图4，是本发明一实施例提供的多端混合直流输电系统的故障选线过程示意图。

[0086] 具体地，步骤S11包括：

[0087] 根据以下公式计算电流突变量：

[0088] $\triangle I(t)=I(t)-I_{[0]}$

[0089] 其中，定义线路电流方向流向母线为正，流出母线为负；定义电流突变量△I为故障后电流减去故障前正常运行电流；t为当前时刻，△I(t)为t 时刻的电流突变量；I(t)为t时刻的线路电流，$I_{[0]}$为故障前正常运行电流；

[0090] 根据以下公式电流变化：

[0091] $dI(t)/dt=I(t)-I(t-kT_s)$

[0092] 其中，定义电流变化率dI/dt为当前时刻电流减去若干采样间隔前的线路电流；dI(t)/dt为t时刻的电流变化率，T_s为采样间隔，k代表若干个采样间隔，取1、2、3等整数；I(t-kTs)为t-kTs时刻的线路电流。

[0093] 其中，以汇流母线区BUS1为例。线路L1、线路L2与换流站出线经汇流母线互连，总共有3个直流线路电流，线路L1电流、线路L2电流分别用IdL1、IdL2表示，逆变站B出线电流用IdLB表示。

[0094] 基于IdL1、IdL2、IdLB的突变量、变化率以及电流和，所述汇流母线区的电气量关系满足以下故障判断条件时，开始进行故障选线；

[0095]
$$\begin{cases}\Delta \mathrm{IdL1}(t)<\mathrm{TH}_{11}\\ \Delta \mathrm{IdL2}(t)>\mathrm{TH}_{21}\\ \Delta \mathrm{IdLB}(t)>\mathrm{TH}_{31}\\ \mathrm{d}(\mathrm{IdL1}(t))/dt<\mathrm{TH}_{12}\\ \mathrm{d}(\mathrm{IdL2}(t))/dt>\mathrm{TH}_{22}\\ \mathrm{d}(\mathrm{IdLB}(t))/dt>\mathrm{TH}_{32}\\ (\mathrm{IdL1}(t)+\mathrm{IdL2}(t)+\mathrm{IdLB}(t))<\mathrm{TH}_{4}\end{cases}$$

[0096] 其中，△IdL1(t)为t时刻的线路L1电流突变量，△IdL2(t)为t时刻的线路L2电流突变量，△IdLB(t)为t时刻的逆变站B出线电流突变量； TH11、TH21、TH31为突变量定值；d(IdL1(t))/dt为t时刻的线路L1 电流变化率，d(IdL2(t))/dt为t时刻的线路L2电流变化率，d(IdLB(t)) /dt为t时刻的逆变站B出线电流变化率；TH12、TH22、TH32为变化率定值；TH4为考虑躲过区外故障最大暂态测量误差，可取0.2p.u.。

[0097] 优选地，步骤S12包括：

[0098] 通过所述换流站的站间通信，检测所述换流站发生的线路保护动作或者极保护动

作。

[0099] 参见图5,是本发明一实施例提供的多端混合直流输电系统的故障选线逻辑图,包括图5(a)为L1线路侧故障判断逻辑图、图5(b)为汇流母线区BUS1 内L2线路侧故障判断逻辑图、图5(c)为汇流母线区BUS2内L2线路侧故障判断逻辑图、图5(d)为L3线路侧故障判断逻辑图以及图5(d)为多端混合直流输电系统的故障线路判断逻辑图。

[0100] 具体地,步骤S13包括:

[0101] 如图5(a)所示,一定时间△t内汇流母线区BUS1线路电气量判据满足以下故障判断条件,且同时满足有任意线路保护动作,且各站无极保护、阀组保护动作的情况下,可给出初步选线结果为线路L1侧故障;

[0102]
$$\begin{cases} \Delta \mathrm{IdL1}(t) < \mathrm{TH}_{11} \\ \Delta \mathrm{IdL2}(t) > \mathrm{TH}_{21} \\ \Delta \mathrm{IdLB}(t) > \mathrm{TH}_{31} \\ \mathrm{d}(\mathrm{IdL1}(t))/dt < \mathrm{TH}_{12} \\ \mathrm{d}(\mathrm{IdL2}(t))/dt > \mathrm{TH}_{22} \\ \mathrm{d}(\mathrm{IdLB}(t))/dt > \mathrm{TH}_{32} \\ (\mathrm{IdL1}(t) + \mathrm{IdL2}(t) + \mathrm{IdLB}(t)) < \mathrm{TH}_{4} \end{cases}$$

[0103] 优选地,△t为考虑躲过整流站移相的时间,可取10ms。

[0104] 类似的,如图5(b)所示,基于IdL1、IdL2、IdLB的突变量、变化率以及电流和,在故障后一定时间△t内满足以下故障判断条件,且同时满足有任意线路保护动作,且各站无极保护、阀组保护动作的情况下,可确定为线路L2侧故障;

[0105]
$$\begin{cases} \Delta \mathrm{IdL1}(t) > \mathrm{TH}_{11} \\ \Delta \mathrm{IdL2}(t) < \mathrm{TH}_{21} \\ \Delta \mathrm{IdLB}(t) > \mathrm{TH}_{31} \\ \mathrm{d}(\mathrm{IdL1}(t))/dt > \mathrm{TH}_{12} \\ \mathrm{d}(\mathrm{IdL2}(t))/dt < \mathrm{TH}_{22} \\ \mathrm{d}(\mathrm{IdLB}(t))/dt > \mathrm{TH}_{32} \\ (\mathrm{IdL1}(t) + \mathrm{IdL2}(t) + \mathrm{IdLB}(t)) < \mathrm{TH}_{4} \end{cases}$$

[0106] 类似的,如图5(c)所示,对汇流母线区BUS2,基于IdL3、IdL4、IdLC 的突变量、变化率以及电流和,在故障后一定时间△t内满足以下故障判断条件时,且同时满足有任意线路保护动作,且各站无极保护、阀组保护动作的情况下,可给出初步选线结果为线路L2侧故障;

[0107] 其中,在汇流母线区BUS2线路L3、线路L4与换流站出线经汇流母线互连,总共有3个直流线路电流,线路L3电流、线路L4电流分别用IdL3、 IdL4表示,逆变站C出线电流用IdLC表示;

[0108]
$$\begin{cases}\Delta IdL3(t) < TH_{11}\\ \Delta IdL4(t) > TH_{21}\\ \Delta IdLC(t) > TH_{31}\\ d(IdL3(t))/dt < TH_{12}\\ d(IdL4(t))/dt > TH_{22}\\ d(IdLC(t))/dt > TH_{32}\\ (IdL3(t)+IdL4(t)+IdLC(t)) < TH_{4}\end{cases}$$

[0109] 其中，△IdL3(t)为t时刻的线路L3电流突变量，△IdL4(t)为t时刻的线路L4电流突变量，△IdLC(t)为t时刻的逆变站C出线电流突变量；d(IdL3(t))/dt为t时刻的线路L3电流变化率，d(IdL4(t))/dt为t时刻的线路L4电流变化率，d(IdLC(t))/dt为t时刻的逆变站C出线电流变化率。

[0110] 类似的，如图5(d)所示，基于IdL3、IdL4、IdLC的突变量、变化率以及电流和，在故障后一定时间△t内满足以下故障判断条件时，且同时满足有任意线路保护动作，且各站无极保护、阀组保护动作的情况下，可给出初步选线结果为线路L3侧故障；

[0111]
$$\begin{cases}\Delta IdL3(t) > TH_{11}\\ \Delta IdL4(t) < TH_{21}\\ \Delta IdLC(t) > TH_{31}\\ d(IdL3(t))/dt > TH_{12}\\ d(IdL4(t))/dt < TH_{22}\\ d(IdLC(t))/dt > TH_{32}\\ (IdL3(t)+IdL4(t)+IdLC(t)) < TH_{4}\end{cases}$$

[0112] 在一种可选的实施例中，所述方法还包括：

[0113] 当任意时刻检测到所述换流站产生极保护动作的信号，或者未检测到所述换流站产生线路保护动作时，则退出BUS1故障选线流程，选线结果为非线路故障。

[0114] 在一种可选的实施例中，所述方法还包括：

[0115] 当在故障后预设的时间内检测到所述换流站产生线路保护动作、未检测到所述换流站产生极保护动作、且检测到所述汇流母线区的电气量关系不满足所述故障判断条件时，则退出BUS1故障选线流程，选线结果为非线路故障。

[0116] 在一种可选的实施例中，所述方法还包括：

[0117] 当检测到当前的操作时长超过△t延时时，重新检测所述换流站发生故障后产生的保护动作；其中，所述操作时长为输电系统故障时刻至当前时刻的时长，△t为考虑躲过整流站移相的时间。

[0118] 类似的，汇流母线区BUS2也有以上相似的情况。

[0119] 具体地，步骤S14包括：综合两个汇流母线区结果进行故障选线，并通知各站极控装置。

[0120] 如图5(e)所示，综合汇流母线区BUS1和BUS2的初步选线结果进一步确定故障线

路，并将故障选线结果通知给各站极控。

[0121] 如果汇流母线区BUS1第一步判断结果为线路L1侧故障、BUS2第一步判断结果为线路L2侧故障，即可定位线路故障位于线路L1；

[0122] 如果汇流母线区BUS1第一步判断结果为线路L2侧故障、BUS2第一步判断结果为线路L2侧故障，即可定位线路故障位于线路L2；

[0123] 如果汇流母线区BUS1第一步判断结果为线路L2侧故障、BUS2第一步判断结果为线路L3侧故障，即可定位线路故障位于线路L3。

[0124] 进一步的，当检测到故障线路重启成功时，所述输电系统恢复运行；

[0125] 当检测到故障线路重启达到最大允许次数时，根据故障选线结果，进行故障端隔离；

[0126] 当检测到故障线路重启且未达到最大允许次数时，继续执行线路重启。

[0127] 本实施例本发明实施例提供的多端直流输电系统保护定值整定与动作配合的方法，包含了整流站收到线路保护装置发出线路故障重启命令后，与相应的换流站汇流母线差动保护、极保护、线路保护共同配合的具体方法，采用上述方法能够解决多端直流线路保护在整定方面的难题，保证设备和人身安全，提高了多端直流输电系统的运行可靠性，具有较强的可操作性。

[0128] 以上所述是本发明的优选实施方式，应当指出，对于本技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明原理的前提下，还可以做出若干改进和润饰，这些改进和润饰也视为本发明的保护范围。

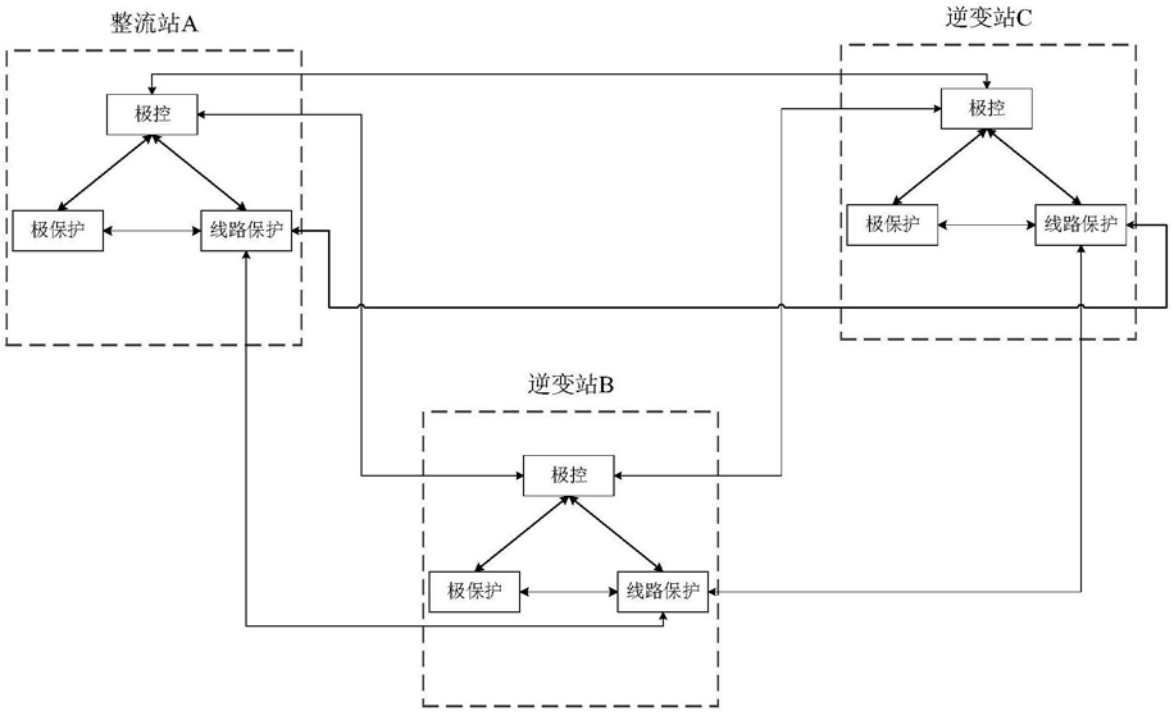

整流站A
极控
极保护
线路保护
逆变站C
极控
极保护
线路保护
逆变站B
极控
极保护
线路保护

图1

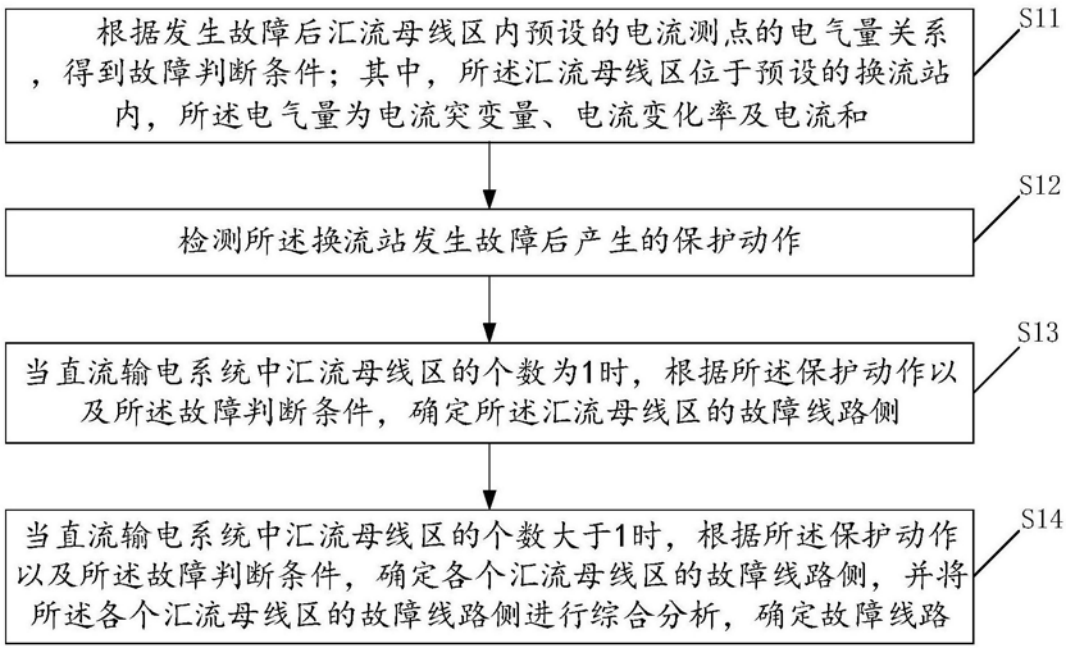

根据发生故障后汇流母线区内预设的电流测点的电气量关系，得到故障判断条件；其中，所述汇流母线区位于预设的换流站内，所述电气量为电流突变量、电流变化率及电流和
S11
检测所述换流站发生故障后产生的保护动作
S12
当直流输电系统中汇流母线区的个数为1时，根据所述保护动作以及所述故障判断条件，确定所述汇流母线区的故障线路侧
S13
当直流输电系统中汇流母线区的个数大于1时，根据所述保护动作以及所述故障判断条件，确定各个汇流母线区的故障线路侧，并将所述各个汇流母线区的故障线路侧进行综合分析，确定故障线路
S14

图2

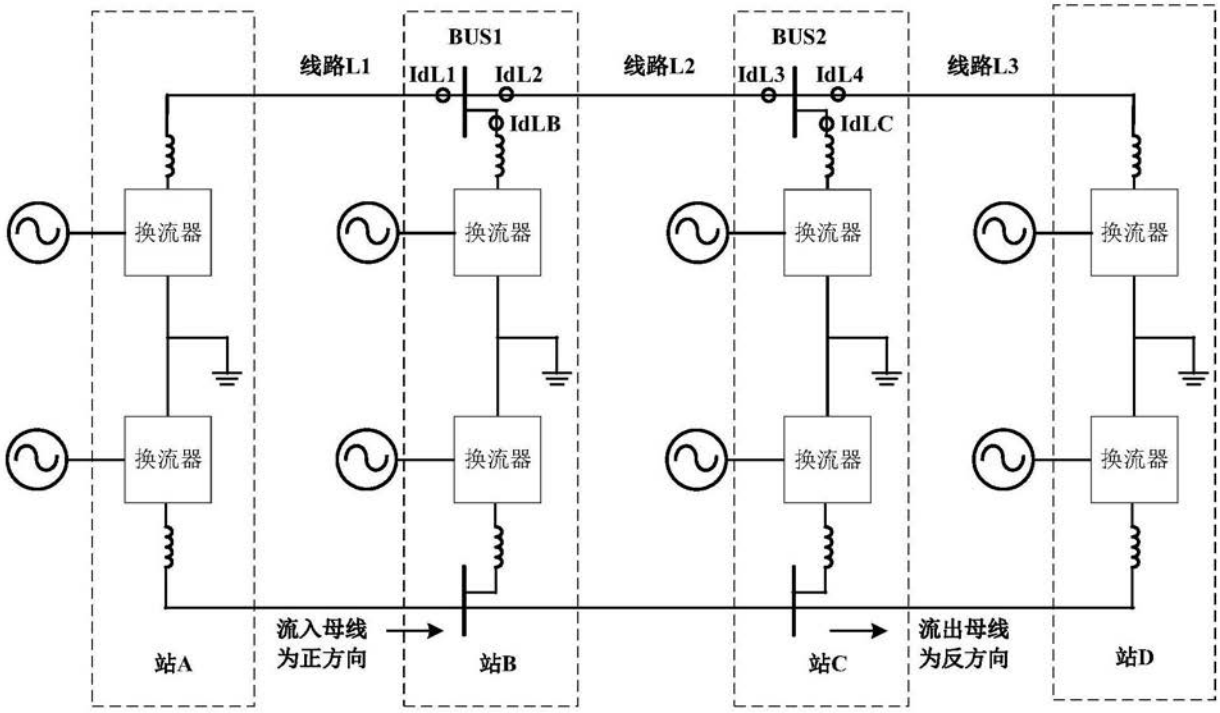

BUS1
BUS2
线路L1
IdL1
IdL2
线路L2
IdL3
IdL4
线路L3
IdLB
IdLC
换流器
换流器
换流器
换流器
换流器
换流器
换流器
换流器
流入母线
为正方向
流出母线
为反方向
站A
站B
站C
站D

图3

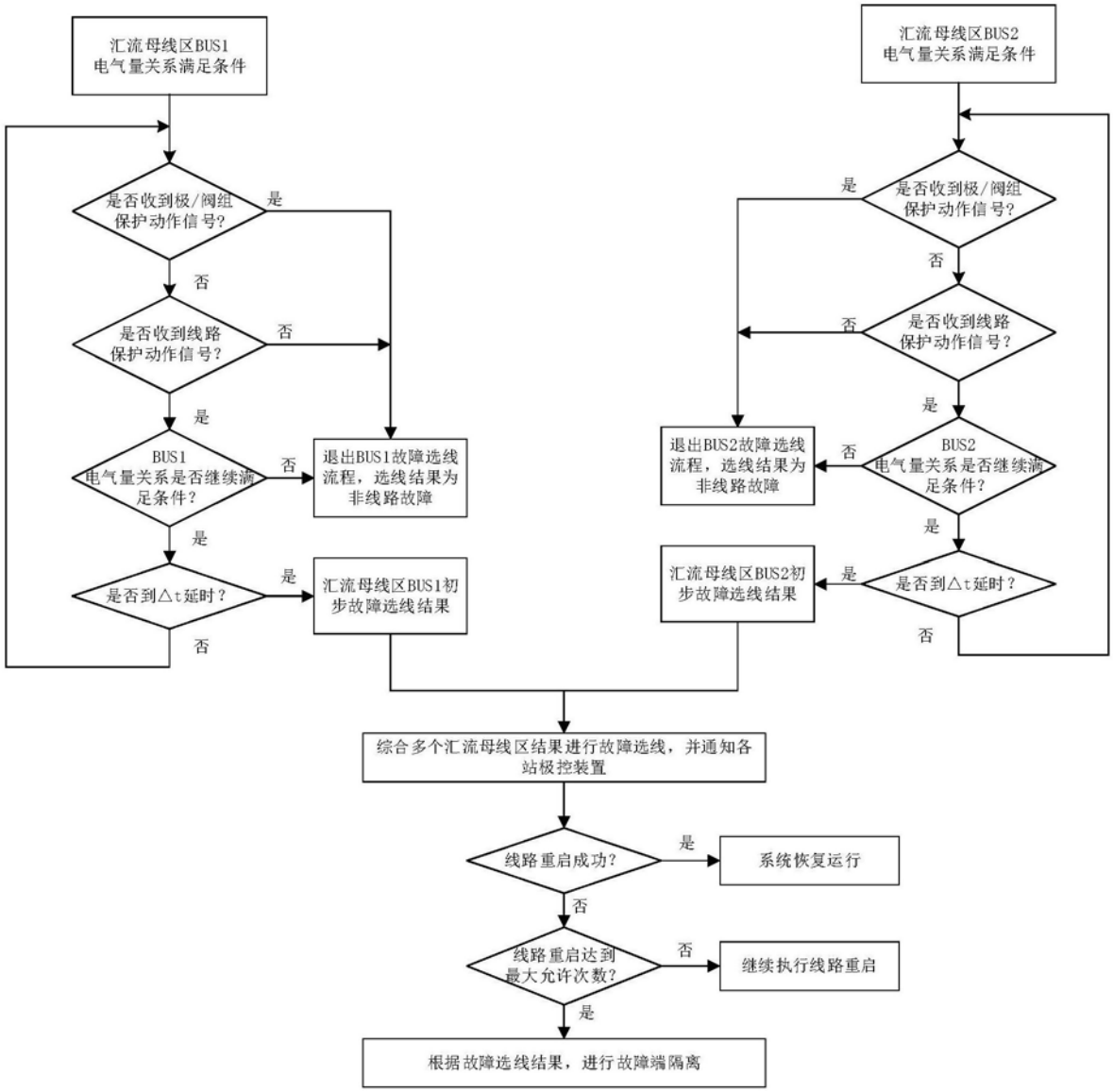

汇流母线区BUS1
电气量关系满足条件
是否收到极/阀组
保护动作信号?
是
否
是否收到线路
保护动作信号?
否
是
BUS1
电气量关系是否继续满
足条件?
否
退出BUS1故障选线
流程，选线结果为
非线路故障
是
是否到△t延时?
是
汇流母线区BUS1初
步故障选线结果
否
汇流母线区BUS2
电气量关系满足条件
是否收到极/阀组
保护动作信号?
是
否
是否收到线路
保护动作信号?
否
是
BUS2
电气量关系是否继续满
足条件?
否
退出BUS2故障选线
流程，选线结果为
非线路故障
是
是否到△t延时?
是
汇流母线区BUS2初
步故障选线结果
否
综合多个汇流母线区结果进行故障选线，并通知各
站极控装置
线路重启成功?
是
系统恢复运行
否
线路重启达到
最大允许次数?
否
继续执行线路重启
是
根据故障选线结果，进行故障端隔离

图4

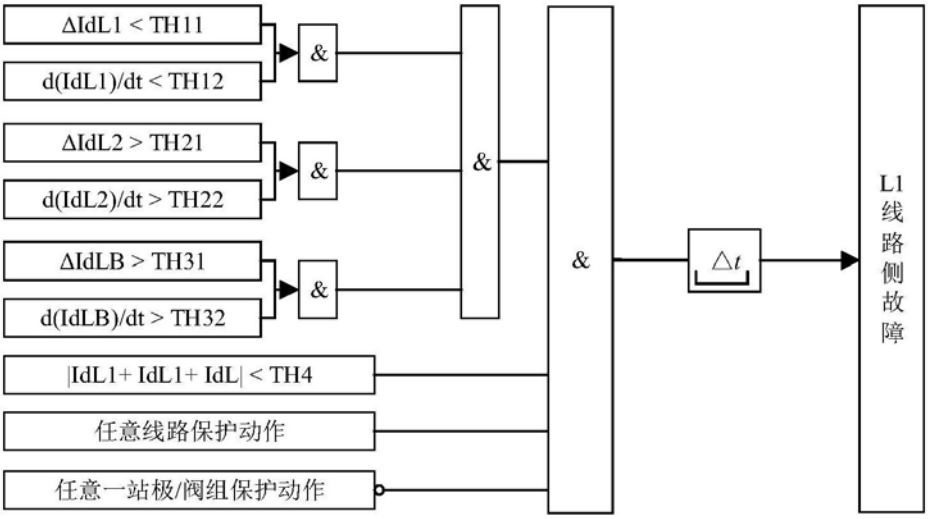

ΔIdL1 < TH11
d(IdL1)/dt < TH12
ΔIdL2 > TH21
d(IdL2)/dt > TH22
ΔIdLB > TH31
d(IdLB)/dt > TH32
|IdL1+ IdL1+ IdL| < TH4
任意线路保护动作
任意一站极/阀组保护动作
&
△t
L1线路侧故障

图5 (a)

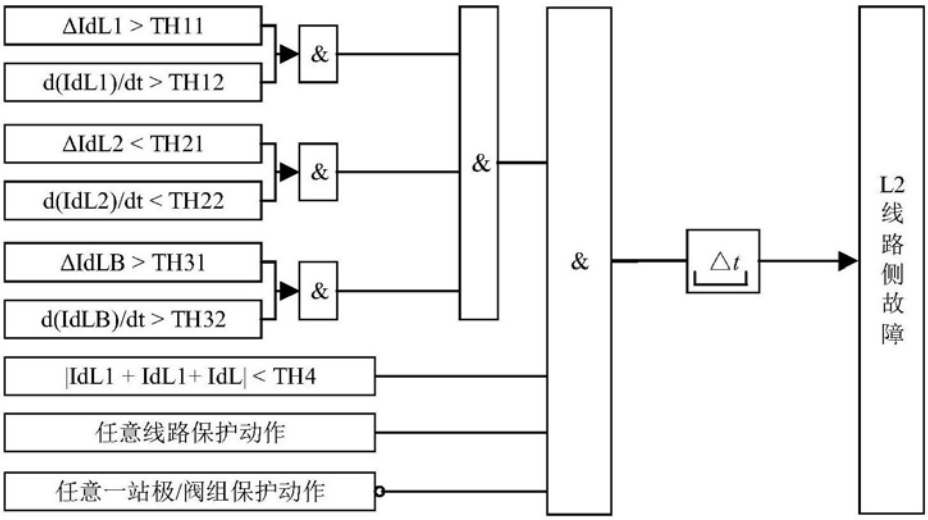

ΔIdL1 > TH11
d(IdL1)/dt > TH12
ΔIdL2 < TH21
d(IdL2)/dt < TH22
ΔIdLB > TH31
d(IdLB)/dt > TH32
|IdL1 + IdL1+ IdL| < TH4
任意线路保护动作
任意一站极/阀组保护动作
&
△t
L2线路侧故障

图5 (b)

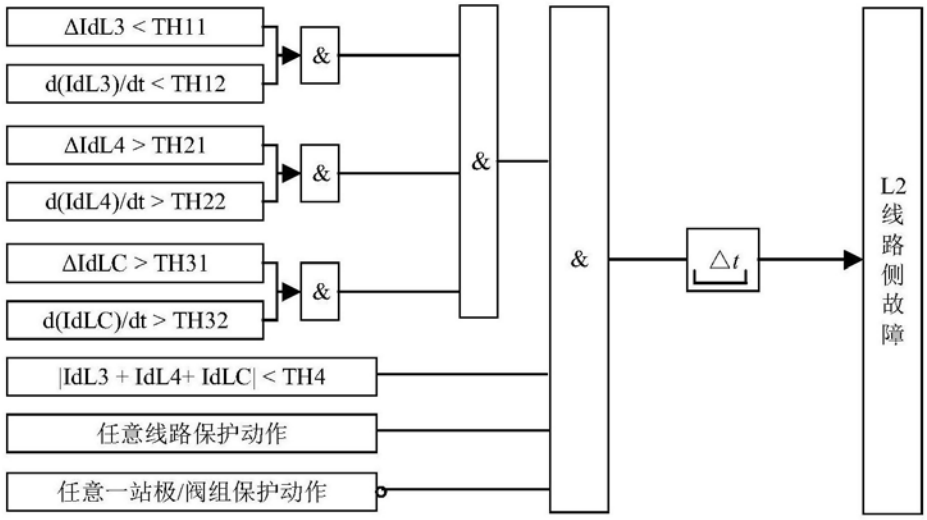

ΔIdL3 < TH11
d(IdL3)/dt < TH12
ΔIdL4 > TH21
d(IdL4)/dt > TH22
ΔIdLC > TH31
d(IdLC)/dt > TH32
|IdL3 + IdL4+ IdLC| < TH4
任意线路保护动作
任意一站极/阀组保护动作
&
△t
L2线路侧故障

图5(c)

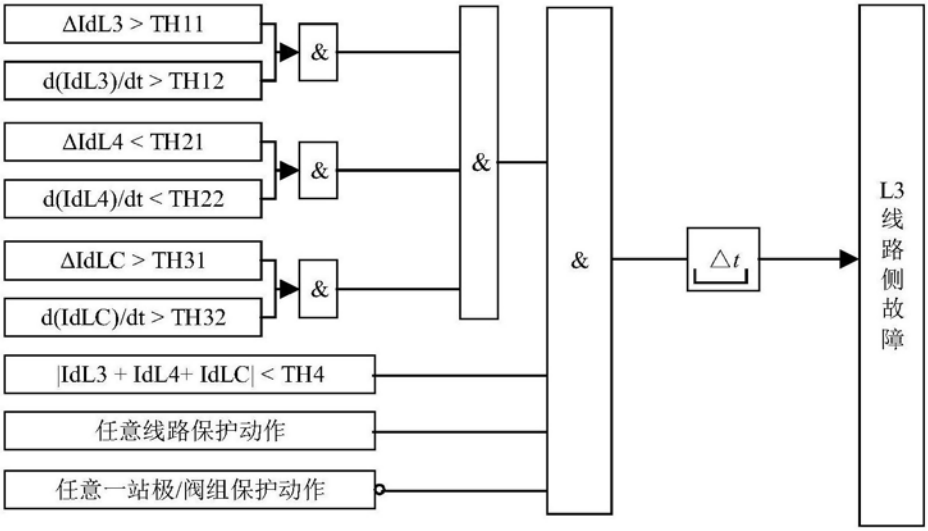

ΔIdL3 > TH11
d(IdL3)/dt > TH12
ΔIdL4 < TH21
d(IdL4)/dt < TH22
ΔIdLC > TH31
d(IdLC)/dt > TH32
|IdL3 + IdL4+ IdLC| < TH4
任意线路保护动作
任意一站极/阀组保护动作
&
△t
L3线路侧故障

图5(d)

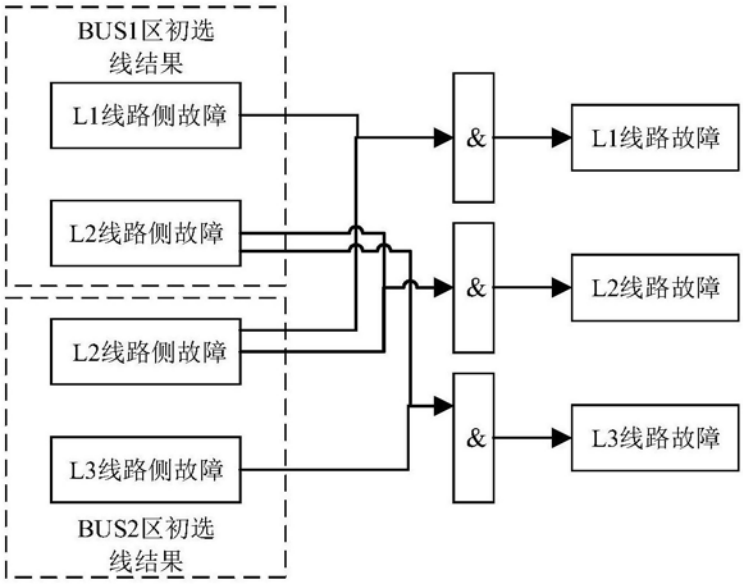

BUS1区初选
线结果
L1线路侧故障
L2线路侧故障
L2线路侧故障
L3线路侧故障
BUS2区初选
线结果
&
&
&
L1线路故障
L2线路故障
L3线路故障

图5(e)