

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.181329

一种基于柜式母线故障特性的中低压母线精准保护

黎高程¹, 陈晓彬¹, 孙玉彤², 孙旭¹, 金震³, 陈伟钦¹

(1. 广东电网有限责任公司揭阳供电局, 广东 揭阳 522000; 2. 广东珠海电力设计院有限公司, 广东 珠海 519000; 3. 南京南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211102)

摘要: 为了快速切除柜式布置的中低压母线故障, 针对开关柜密封结构故障的特点, 结合运行方式, 给出一种新型中低压快速母线精准保护。利用燃弧试验要求和实际运行故障的录波数据, 研究发现柜式布置的设备两相故障最终都会发展为三相短路故障的特征。新保护只在三相故障时才启动, 同时结合三相故障电流自动判断系统运行方式, 做到保护和方式智能融合, 综合判断决定跳母联开关策略, 缩短隔离故障时间, 同时利用母线三相电压闭锁, 杜绝线路环网和远区故障的误动风险。新保护突破传统保护多重配合的弊端, 能够高效快速切除母线故障, 解决了当今电网的燃眉之急。安装简单, 接线少, 适合现场和产业化的需要, 是继电保护的发展方向之一。

关键词: 母线精准保护; 三相故障; 运行方式; 三相电压闭锁

A kind of accurate protection of mid-low voltage bus based on the fault characteristics of cabinet bus

LI Gaocheng¹, CHEN Xiaobin¹, SUN Yutong², SUN Xu¹, JIN Zhen³, CHEN Weiqin¹

(1. Jieyang Power Supply Bureau of Guangdong Power Grid Co., Ltd., Jieyang 522000, China; 2. Zhuhai Electric Power Design Institute Co., Ltd., Zhuhai 519000, China; 3. Nari-relays Electric Co., Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: In order to quickly remove the mid-low voltage bus fault arranged in the cabinet, according to the characteristics of the switch cabinet sealing structure fault, combined with the operation mode, a new type of medium and low voltage fast bus precise protection is given. Based on the requirements of arcing test and the recording data of actual operation faults, it is found that the equipment faults arranged in cabinet will eventually develop into three-phase short-circuit faults. New protection only starts when the three-phase fault appears, at the same time judges system operation mode combined with three-phase fault current, achieves protection and the way intelligent integration and strategy which is chosen to jump bus coupler after comprehensive judgement, shortening the time of isolation fault. In the meanwhile using the three-phase voltage lockout, it puts an end to risks of false action of ring network and remote area. The new protection breaks through the disadvantages of the traditional multiple protection, and can efficiently and quickly remove the bus fault, thus solving the extremely urgency problem of today's power grid. Simple installation, less wiring, and suitable for the needs of field and industrialization, is one of the development directions of relay protection.

This work is supported by National Key Research and Development Program of China (No. 2017YFB0903201) and Science and Technology Project of China Southern Power Grid Co., Ltd. (No. GDKJXM20161906).

Key words: bus precise protection; three-phase fault; mode of operation; three-phase voltage lockout

0 引言

传统的10 kV(或20 kV, 以下全部简称为10 kV)的中低压母线在满足系统稳定要求的情况下, 一般未设置快速保护^[1]。而且快速保护有缺陷, 一旦发

生母线故障难以快速切除, 只有依靠主变后备保护经延时隔离故障^[2]。但后备保护动作延时需要与相关馈线、电容器等过流保护配合, 其动作延时一般整定为1.2 s, 若要考虑与配网自动化配合, 一般整定为1.5 s。低压母线故障持续1.5 s时间切除, 对供电设施的危害将是非常严重的^[3], 国内近年来已有多座变电站发生10 kV母线故障时, 由于故障没能快速切除, 烧毁多个相邻开关柜, 受损范围扩大,

基金项目: 国家重点研发计划资助(2017YFB0903201); 南方电网有限责任公司科技项目资助(GDKJXM20161906)

使较大范围内用户长时间停电^[4], 造成严重的社会影响, 这可以看作是一种系统性家族隐患^[5-6]。

1 故障电弧影响分析

有研究表明, 由于主变后备保护动作延时较长, 故障电弧在封闭布置的开关柜内部经过 1.2~1.5 s 的发展、作用, 弧光产生的瞬时功率可以达到 40 MW^[7], 内部温度可以升至 10 000~20 000 °C^[8-9], 这将导致开关柜内部气体温度和压力急剧提升^[10], 开关柜受热膨胀^[11], 金属及绝缘等燃烧、融化^[12], 故障将快速发展为三相短路, 并极易引起剧烈爆炸, 殃及本柜及相邻屏柜内的一、二次设备, 后果非常严重, 此后即使故障被隔离, 往往大火仍然继续燃烧, 不会自行熄灭, GB3906-2006《3.6~40.5 kV 交流金属封闭开关设备和控制设备》中指出应考虑开关柜发生内部故障的可能性。根据 GB3906-2006《3.6~40.5 kV 交流金属封闭开关设备和控制设备》中规定, 燃弧试验时间推荐为 1 s、0.5 s 和 0.1 s, 而 DL/T404-2007《3.6~40.5 kV 交流金属封闭开关设备和控制设备》中规定燃弧试验持续时间为 1 s 和 0.5 s。国家电网公司生[2010]811 号文《预防 12~40.5 kV 交流高压开关柜事故补充措施》中“第八条 IAC 级高压开关柜内部故障电弧允许持续时间应不小于 0.5 s, 试验电流为额定短时耐受电流, 对于额定短路开断电流 31.5 kA 以上产品可按照 31.5 kA 进行内部故障电弧试验”。开关柜燃弧试验要求 0.5 s 内不烧穿隔板, 不爆柜门盖板和点燃指示灯。所以对于最严重的三相短路故障, 若能在 0.5 s 内切除则可减少事故损失。

通常配电室内 10 kV 开关柜是紧密布置^[13], 且各开关柜的母线室间是不完全封闭的^[14], 燃烧引起的高温浓烟、挥发物质等弥漫至相邻开关柜内部及 10 kV 配电室内^[15], 一些高温挥发物质会附着于物体表面, 造成 10 kV 配电室相关一、二次设备的绝缘水平大幅降低, 也加速了故障的扩散^[16]; 另一方面, 由于高温挥发物质会附着于元器件及其他设备表面, 造成清洁维护困难、绝缘性能难恢复, 为以后运行埋下隐患。

2 变电站中低压母线保护现状

电力系统中 110 kV 及以上变电站的 10 kV 设备均采用室内开关柜布置形式, 开关柜分母线室、断路器手车室、电缆室以及继电器仪表室。开关柜的母线室内设备及连接导体为密集型布置, 其内部母线的相与相之间、手车静触头之间、相导体与高压柜柜体之间的间距一般只有 12.5 cm, 容易发生相间

或相对地故障, 在故障电弧光的作用下, 极易转换成三相故障且扩散非常迅速, 单面开关柜故障引起的火灾迅速蔓延, 演变成数面开关柜同时烧毁的事故已发生多起。最近某省变电站 10 kV 母线故障时引起火灾, 最终导致全站严重烧毁。目前选择不合适的保护将类似的故障快速隔离, 满足不了供电可靠性要求越来越高的需要。

现阶段可供选择 10 kV 开关柜母线保护有三种类型: 第一种是在主变变低后备保护内配置的简易母线保护^[17], 需要配合的开关柜较多, 接线较复杂, 并且在新能源等电源广泛接入的当下, 简易母线保护极易发生拒动, 缺点较明显; 第二种是弧光保护^[18], 根据故障时产生的弧光大小、强弱来判断开关柜内是否发生故障。该种保护的弧光传感器检验设定困难, 也不够稳定, 需要解决光污染及灵敏度偏低等问题, 同时由于开关柜密闭结构比较复杂, 传感器的安装位置确定比较困难, 安装及维护不方便, 且需要将一次设备停运后才能安装及检修, 影响用户使用信心; 第三种是常规母线电流差动保护^[19], 典型保护动作时间为 30~45 ms, 但由于同一母线内各开关柜内 CT 变比差异较大, CT 饱和特性不一致, 可能会导致保护误动, 且装置的支路数量很难满足要求。另外采用常规母线电流差动保护, 增加投资及工作量明显, 因此较少被采用。

综上所述, 目前在封闭布置的开关柜内一次导电元件密集布置, 而 10 kV 母线的运行由于没有完善主保护及保护配合缺失等问题, 存在较大的安全隐患, 无法满足安全生产要求, 需要研发适用于封闭布置的开关柜简单易行的中低压母线保护, 并且不需要增加过多的接线, 其动作时间需在现有的主变低压侧后备保护动作 1.2~1.5 s 的基础上, 进行大幅度缩短, 即要求能有效降低故障持续时间, 减少故障电流、电弧对供电电网及设备的影响程度。本文提出并研发一种造价低、原理简单、便于安装的新型母线故障快速保护。

3 基于母线故障特征的中低压母线保护装置

3.1 通过深入分析, 挖掘母线故障特征

一般电网故障分为三类: 接地故障、相间故障和三相故障。通过对已发生的多起高压柜事故的故障录波综合分析和深入研究, 发现 10 kV 母线故障有共同的特性, 并且与封闭布置的开关柜内元件布置密集及间距较小相关, 根据 10 kV 系统不同接地方式故障特征如下:

对于中性点经小电阻接地的系统来说, 10 kV 单相接地故障或任何相间故障都因产生大电流而起

弧，并瞬间击穿绝缘而发展为三相故障(约 2 ms)。对于中性点不接地的系统来说，10 kV 单相接地故障时可以继续运行，两相故障在绝缘击穿电弧的作用下也将立即发展为三相短路故障，通过厂家燃弧试验和实际故障的经验表明，开关柜内故障最终都是发展为三相故障导致保护跳闸，而且故障时母线电压基本为 0 V。图 1 所示是开关柜母线故障的一个录波图，可以看出三相故障是几乎同时发生的。

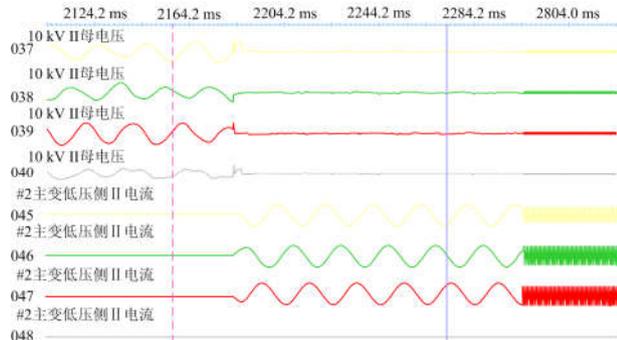


图 1 10 kV 母线现场故障录波图

Fig. 1 Recorded diagram of 10 kV bus field failure chart

综上所述，可以看出对于 10 kV 母线的保护，我们只需关注三相短路即可。以往的主变后备保护考虑所有的故障类型，考虑大而全，依靠长延时来兼顾母线故障、线路近区故障、线路全长范围内故障及下级故障，从而导致主变低压侧后备保护动作于母线故障时跳闸时间长，牺牲了速动性，没有做到对在密封空间狭小的开关柜内母线故障的精准判断，且也没有考虑 10 kV 侧系统运行方式对母线故障判断的影响。

3.2 提出新的母线精准保护方案

目前变电站低压侧一次主接线可简单等效如图 2、图 3 所示，分为两主变和三主变低压侧接线方式。

针对开关柜和母线故障的特点，结合上述变电站主接线及相关运行方式，本方案提出低压母线三相故障保护方案如下：

1) 保护整体配置功能

本方案考虑低压母线保护装置具备采集两段母

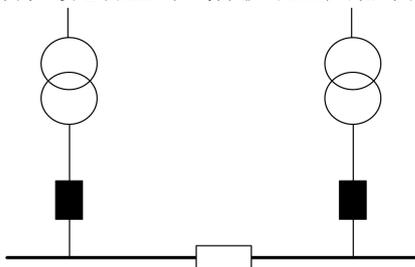


图 2 变电站两主变低压侧一次接线图

Fig. 2 Main connection of low-voltage side of substation two transformers

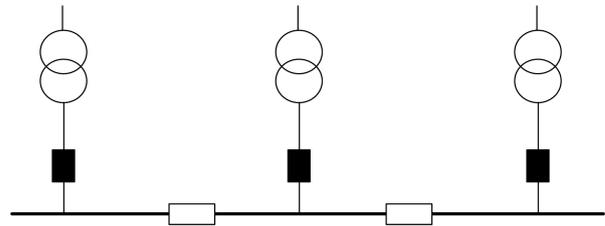


图 3 变电站三主变低压侧一次接线图

Fig. 3 Main connection of low-voltage side of substation three transformers

线三相电压、两台主变低压侧三相电流、低压侧分段三相电流和出口跳两台主变各侧断路器、联跳低压母线所接小电源断路器、跳低压母线分段断路器。保护装置无需采集断路器位置而能自动识别低压母线系统运行方式，在不同运行方式下，给出不同的低压母线保护动作策略，实现母线故障判断与隔离、联切小电源等，同时考虑了闭锁相关自动设备的功能。

2) 保护动作逻辑

当某母线发生三相故障，保护装置判断两主变低压侧均三相过流、分段三相过流，本保护装置判断运行方式为两台主变并列运行，经延时 1(约 20 ms，根据开关固有跳闸时间设定)跳分段开关，待分段开关跳开后非故障母线变低保护返回，故障母线变低保护再经延时 2 跳开主变低压侧开关，并联跳同段母线上的小电源出线开关。同时该保护还具备再经延时 3 跳主变各侧开关的设计，防止变低开关跳闸失败。其中延时 2 大于出线速断保护一个时间级差，时间级差建议整定为 100~200 ms；延时 3 为开关失灵判别时间。

当某母线发生三相故障，保护装置判断只有其中一台主变低压侧与分段三相过流，本保护装置判断运行方式为一台主变带两段母线运行，经延时 2 跳开分段开关，并联跳与运行主变非同段母线上的小电源出线开关，若此时故障未被隔离，再经延时 3 跳主变低压侧开关并联跳同段母线上的小电源出线开关，之后再经延时 3 跳主变各侧开关；若主变低压侧三相过流而分段三相不过流，则直接经延时 2 跳主变低压侧开关并联跳同段母线上的全部小电源出线开关，再经延时 3 跳过流主变的各侧开关。

当某母线发生三相故障，保护装置判断只有一台主变低压侧三相过流，本保护装置判断运行方式为一台主变带本段母线运行，则直接经延时 2 跳主变低压侧开关，并联跳本段母线上的全部小电源出线开关，再经延时 3 跳过流主变的各侧开关。

其中，延时 2 为图 4 中的“过流时间定值”，延

时 3 为图 4 中的“失灵保护时间定值”; 主变三相过流固定经本母线低电压闭锁; CT 断线需考虑闭锁本保护。

3) 装置结构设计方案如图 5 所示。

4) 特征量仿真

考虑到三相短路时电压、电流特征对保护判据

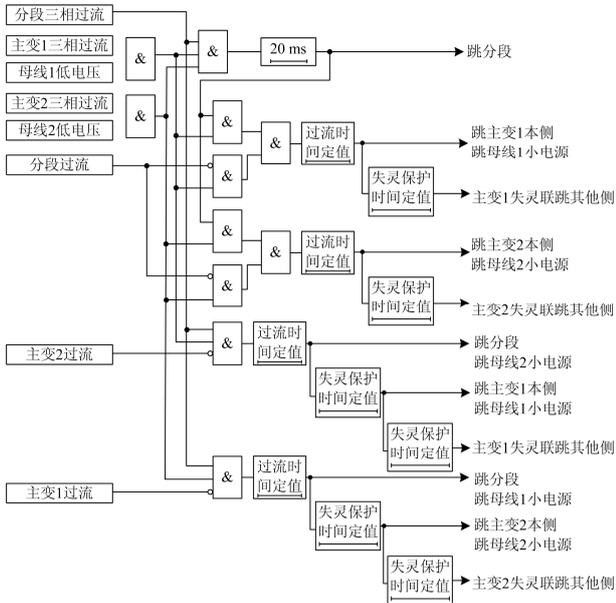


图 4 新母线保护方案逻辑图

Fig. 4 Logic diagram of new bus protection scheme

设计的影响, 特别是电压闭锁的作用, 为此对开关柜三相短路进行了仿真。

a) 仿真模型

建立仿真模型如图 6 所示。有 3 条负载线路, 三相短路接地故障分别位于母线侧和负荷侧(仿真时仅有一个故障模型), 负荷线路长 20 km。

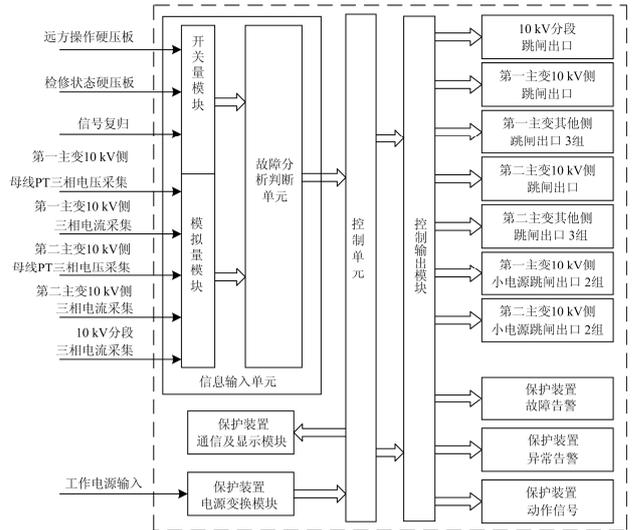


图 5 10 kV 母线保护装置结构示意图

Fig. 5 Structure schematic diagram of 10 kV bus protection device

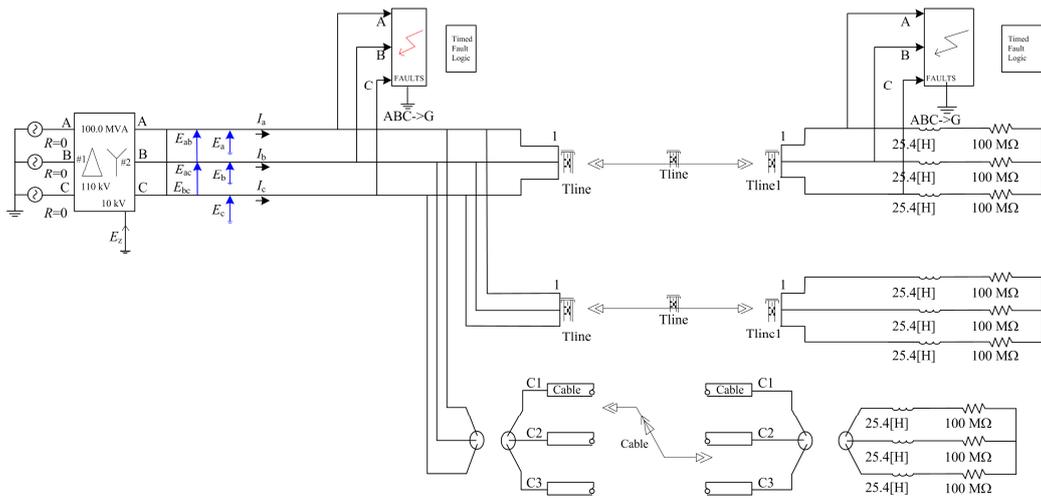


图 6 仿真模型

Fig. 6 Simulation model

b) 仿真结果

母线侧接地时相电压和相电流仿真结果如图 7—图 10 所示。

由仿真可见, 当母线侧发生三相短路接地, 三相电压同时大幅下降, 但系统仍然平衡, 中性点电压变小, 电流突增。

同时针对不同接地电阻的情况也分别进行仿真, 得到相电压与相电流数据, 变化如表 1 所示, 馈线故障时, 随着接地电阻的增加, 短路后母线处电压逐渐变大、电流逐渐变小。但是接地电阻的变化对电压影响相对较小。如表 2 所示, 母线故障时, 电弧使金属快速融化接地, 接地电阻极小, 金属性

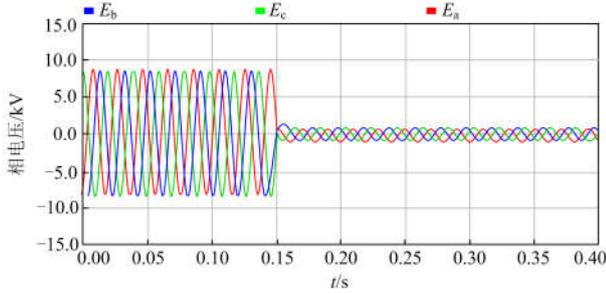


图 7 仿真结果-相电压曲线

Fig. 7 Simulation results - phase voltage curve

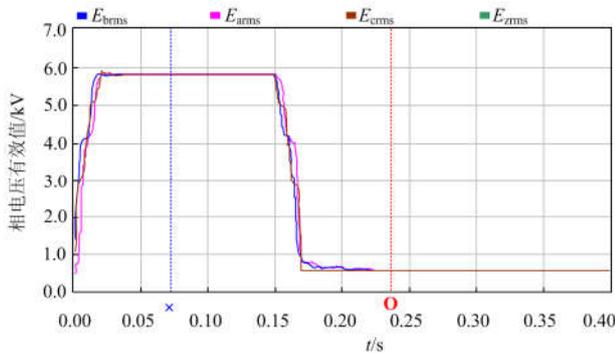


图 8 仿真结果-相电压有效值

Fig. 8 Simulation results - phase voltage effective value

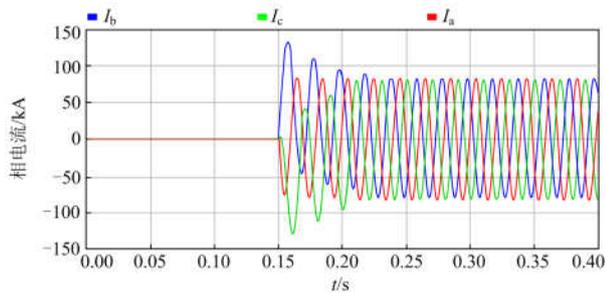


图 9 仿真结果-相电流曲线

Fig. 9 Simulation results - phase current curve

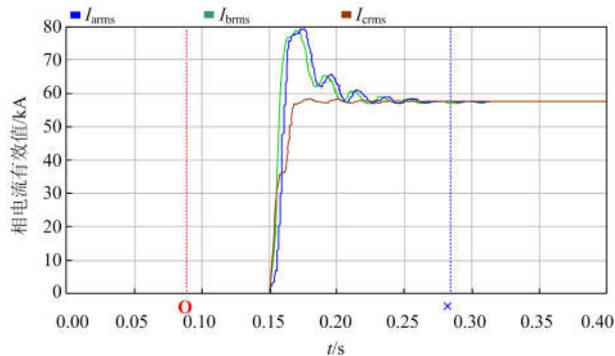


图 10 仿真结果-相电流有效值

Fig. 10 Simulation result - effective value of phase current

表 1 不同接地电阻时馈线故障前后电压电流变化

Table 1 Changes of voltage and current before and after feeder fault under different grounding resistance

| 电阻/ Ω | 短路前(有效值) | | 短路后(有效值) | |
|--------------|----------|--------|----------|--------|
| | 相电压/kV | 相电流/kA | 相电压/kV | 相电流/kA |
| 0 | 5.78 | 0.025 | 5.67 | 1.331 |
| 0.01 | 5.78 | 0.025 | 5.67 | 1.309 |
| 0.05 | 5.78 | 0.026 | 5.671 | 1.302 |
| 0.1 | 5.78 | 0.025 | 5.673 | 1.293 |
| 2 | 5.78 | 0.024 | 5.676 | 0.986 |
| 500 | 5.78 | 0.025 | 5.774 | 0.027 |
| 3 000 | 5.78 | 0.025 | 5.775 | 0.025 |

表 2 不同接地电阻时母线故障前后电压电流变化

Table 2 Changes of voltage and current before and after bus fault under different grounding resistance

| 电阻/ Ω | 短路前(有效值) | | 短路后(有效值) | |
|--------------|----------|--------|----------|--------|
| | 相电压/kV | 相电流/kA | 相电压/kV | 相电流/kA |
| 0 | 5.78 | 0.025 | 0 | 57.7 |
| 0.01 | 5.78 | 0.025 | 0.576 | 57.455 |
| 0.05 | 5.78 | 0.026 | 2.582 | 51.637 |
| 0.1 | 5.78 | 0.025 | 4.083 | 40.828 |
| 2 | 5.78 | 0.024 | 5.471 | 2.866 |
| 500 | 5.78 | 0.025 | 5.774 | 0.027 |
| 3 000 | 5.78 | 0.025 | 5.775 | 0.025 |

接地时,电压几乎降为零。因此加入电压闭锁可以防止区外故障误动,当接地电阻达到一定程度时,电流电压可以闭锁住该保护不误动,整定人员可以根据需要和现场运行情况整定合适的电压电流闭锁值。这时候故障对系统冲击不大,可以利用原来主变后备保护作为线路保护的后备。

3.3 保护动作的分析(图 11)

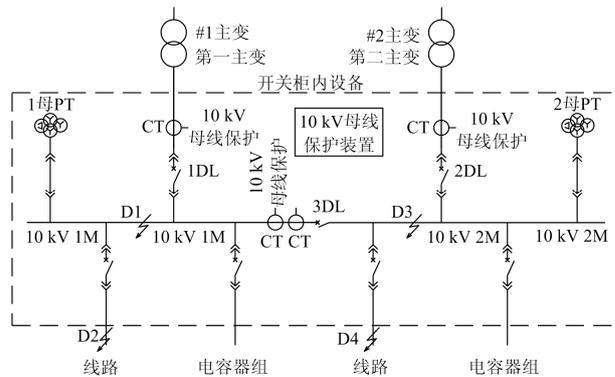


图 11 10 kV 母线各种运行方式下母线及出线近区故障示意图

Fig. 11 Fault schematic diagram of 10 kV bus and near feeder in various operation modes

本方案中低压母线保护装置动作过程如下:

1) 若 10 kV 出线近区三相故障时, 馈线保护装置的过流一段即速断段应快速动作, 断开本间隔断路器, 实现故障的快速隔离, 10 kV 母线保护虽然已经启动但由于延时未到不动作, 当故障间隔断路器断开后, 故障电流消失, 10 kV 母线保护将返回, 满足继电保护选择性要求。

2) 若 10 kV 母线故障, 10 kV 母线保护通过前述方法检测后, 经延时跳开对应的断路器, 实现故障快速隔离。隔离三相故障最长时间从常规的 1.2~1.5 s 降低至 0.3~0.5 s 以内, 隔离故障的速度提高四倍。电弧燃烧的破坏性以及故障电流对系统的冲击影响都是随着时间指数式剧增, 因此本新型保护实现故障隔离最长时间缩短 0.6~1.2 s, 对减少电弧破坏和系统冲击的效果非常显著, 满足继电保护速动性要求。

根据上述保护原理及实现方法, 可以看出本新型快速 10 kV 母线保护具备如下优点:

1) 通过开关柜内部故障最终发展为三相故障的特征, 做到三相故障才精准启动, 减少保护的配合, 装置仅需接入主变和母联电流, 接线简单。

2) 结合三相故障电流智能判断运行方式, 取代传统利用开关位置判断运行方式的方法。做到了运行方式和保护的融合, 改变传统保护跳闸矩阵固定的方式, 智能决定出口策略, 减少常规保护跳母联多一个级差的问题, 同时优先跳开母联开关, 减少了母联在合位主变并列运行短路电流最大时对开关柜及母线、主变冲击的最大影响, 解决了利用功率方向继电器在三相故障时选择故障母线的不足。

3) 增加母线三相电压闭锁、联切小电源、失灵联跳变高功能, 确保保护可靠无死区。

4) 提出了母线精准保护的概念, 避免了各种保护的全包围。本保护仅针对 10 kV 母线三相短路故障及近区三相短路故障, 与其他故障区别开来, 避免了传统靠长延时来兼顾母线故障、线路近区故障、线路全长范围内故障及下级故障而导致主变低压侧后备保护动作于母线故障跳闸时间长的缺点。

4 结论

随着用户对供电可靠性的要求越来越高^[20], 中低压母线故障缺乏行之有效的保护这个困扰电网多年的热点难题显得尤为突出^[21]。通过多年的抢修经验和对开关柜结构的深入分析, 以及对多次故障录波图的比对, 发现开关柜母线故障时最终发展为三相故障的特点, 开发出一种新的能智能判断运行方式的 10 kV 母线保护装置, 精准识别母线三相短路

故障而快速跳闸, 避免主变低压侧后备保护动作于母线故障跳闸时间长的缺点, 解决开关柜内部故障烧毁的问题, 同时避免因无法快速跳闸导致主变抗短路能力不足的改造, 减少操作人员伤亡, 提高供电可靠性和操作安全。目前该装置已经挂网运行, 运行良好。新母线保护抓住开关柜内故障特征, 简化保护, 突破传统保护多重配合的弊端, 安装简单, 接线少, 原有运行主变和开关柜保护定值不用改变, 不影响现有保护的整定与配置, 这对管辖开关柜数量庞大的供电企业来说, 极大地减少工程量, 具有较高的应用价值, 值得推广, 也可以应用到配网开关柜上。新保护做到精准、程序简单、接线简单、性能优异, 适合现场和产业化的需要, 是继电保护的发展方向之一。

参考文献

- [1] 刘洋, 吴水兰, 朱若松, 等. 一种基于功率方向智能变电站中低压母线保护方案[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(4): 114-119.
LIU Yang, WU Shuilan, ZHU Ruosong, et al. A scheme of mid-low voltage busbar protection based on power direction in intelligent substation[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(4): 114-116.
- [2] 马莉. 基于母线故障引起电压暂降的关键母线和脆弱母线辨识[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(21): 98-103.
MA Li. Key busbars and vulnerable busbars identification based on voltage sag caused by busbar fault[J]. Science Technology and Engineering, 2014, 14(21): 98-103.
- [3] 叶远波, 谢民, 王嘉琦, 等. 基于 Markov 模型与 GO 法的智能变电站继电保护系统实时可靠性分析[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(2): 47-55.
YE Yuanbo, XIE Min, WANG Jiaqi, et al. Real time reliability analysis of relay protection system in intelligent substation based on Markov model and GO method[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(2): 47-55.
- [4] NAIK S G, RAVI V, ARSHIYA R. Programmable protective device for LV distribution system protection[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2018, 3(3): 285-290. DOI: 10.1186/s41601-018-0101-5.
- [5] 陈晓彬, 孙玉彤, 谢惠藩, 等. 一起新能源接入条件下线路保护与备自投装置误动的原因分析与改进措施[J]. 广东电力, 2015, 28(12): 80-84, 93.
CHEN Xiaobin, SUN Yutong, XIE Huifan, et al. Reason analysis on malfunction of line protection and spare power automatic switching devices under new energy access condition and improvement measures[J]. Guangdong Electric Power, 2015, 28(12): 80-84, 93.
- [6] 蓝会立, 张认成. 开关柜内部故障电弧探测法的研究现状及趋势[J]. 高压技术, 2008, 34(3): 496-499.
LAN Huili, ZHANG Rencheng. Current research and development trends on faults arc detection method in

- switch cabinet[J]. High Voltage Engineering, 2008, 34(3): 496-499.
- [7] 田有文, 赵龙, 高长亮, 等. 二次变电站中低压开关柜弧光故障分析研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2013, 44(3): 353-356.
TIAN Youwen, ZHAO Long, GAO Changliang, et al. Research on arcing fault characteristic for low-voltages withgearof secondary substation[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2013, 44(3): 353-356.
- [8] 葛耀中, 董杏丽, 董新洲, 等. 基于小波变换的电流行波母线保护的研究(一) — 原理与判据[J]. 电工技术学报, 2003, 18(2): 95-99.
GE Yaozhong, DONG Xingli, DONG Xinzhou, et al. A new bus-bar protection based on current travelling waves and wavelet transform (1)-basic principle and criterion[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2003, 18(2): 95-99.
- [9] 潘贞存, 王葵, 杜世双, 等. 中低压母线加装专用继电保护的必要性和几种方案的探讨[J]. 电网技术, 2002, 26(9): 75-77.
PAN Zhencun, WANG Kui, DU Shishuang, et al. On necessity of appending special busbar protection device to original busbar protection in distribution network and several implementing projects[J]. Power System Technology, 2002, 26(9): 75-77.
- [10] 张春合, 陆征军, 李九虎, 等. 数字化变电站的保护配置方案和应用[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(16): 122-125.
ZHANG Chunhe, LU Zhengjun, LI Jiuhu, et al. Protection configuration scheme and application in digital substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(6): 122-125.
- [11] 詹晓华, 王颖. 浅谈封闭母线设计安装缺陷及改进措施[J]. 江西电力, 2005, 28(1): 34-35.
ZHAN Xiaohua, WANG Ying. On the design and installation defects of closed bus and the improvement measures[J]. Jiangxi Electric Power, 2005, 28(1): 34-35.
- [12] 陆玉军, 徐勇, 薛军, 等. 智能变电站中低压母线保护设计[J]. 江苏电机工程, 2014, 33(3): 21-25.
LU Yujun, XU Yong, XUE Jun, et al. Design and analysis of middle-low voltage busbar protection in smart substation[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2014, 33(3): 21-25.
- [13] 杨迎哲, 左孝红, 刘新龙. 环境风对直接空冷系统运行背压的影响[J]. 热力发电, 2018, 47(12): 118-121.
YANG Yingzhe, ZUO Xiaohong, LIU Xinlong. Effect of environmental wind on back pressure of air cooled condenser system[J]. Thermal Power Generation, 2018, 47(12): 118-121.
- [14] 张文建, 张永霞, 王朝晖, 等. 火电厂 ECMS 和 DCS 一体化监控[J]. 热力发电, 2018, 47(12): 106-110.
ZHANG Wenjian, ZHANG Yongxia, WANG Zhaohui, et al. Integrated monitoring of ECMS and DCS for thermal power plants[J]. Thermal Power Generation, 2018, 47(12): 106-110.
- [15] 蔡燕春, 张少凡, 杨咏梅, 等. 20 kV 环网继电保护整定与运行分析[J]. 广东电力, 2016, 29(2): 64-69.
CAI Yanchun, ZHANG Shaofan, YANG Yongmei, et al. Analysis on relay protection setting and operation of 20 kV loop network[J]. Guangdong Electric Power, 2016, 29(2): 64-69.
- [16] 邓博, 徐鸿, 郭鹏, 等. 变负荷下超(超)临界机组过热器壁温预测[J]. 中国电力, 2018, 51(3): 13-20.
DENG Bo, XU Hong, GUO Peng, et al. Prediction of super heater wall temperature of supercritical units under variable load[J]. Electric Power, 2018, 51(3): 13-20.
- [17] 闫龙川, 张晓亮, 杨猛, 等. 基于 BP 神经网络的信息系统故障自动恢复技术[J]. 中国电力, 2017, 50(8): 146-149.
YAN Longchuan, ZHANG Xiaoliang, YANG Meng, et al. Automatic fault recovery technology of information system based on BP neural network[J]. Electric Power, 2017, 50(8): 146-149.
- [18] 陈晓彬, 孙玉彤, 孙旭, 等. 基于和电流回路误动的新防误系列端子研制[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(21): 168-174.
CHEN Xiaobin, SUN Yutong, SUN Xu, et al. Development of new anti misoperation terminals based on misoperation of sum current loop[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(21): 168-174.
- [19] 陈杰明. 基于 GOOSE 的 10 kV 简易母线保护研究和应用[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(4): 96-99.
CHEN Jieming. 10 kV busbar protection research and application based on GOOSE[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(4): 96-99.
- [20] 陈晓彬. 一起 500 kV 线路远跳装置通道异常时的问题分析与改进[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(24): 209-212.
CHEN Xiaobin. Analysis and improvement for 500 kV lines tele-tripping equipment with abnormal channel[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(24): 209-212.
- [21] 陈晓彬, 郑永强, 孙玉彤. 直流电源系统运行方式及隔离开关状态监视方法[J]. 广东电力, 2017, 30(7): 40-45.
CHEN Xiaobin, ZHENG Yongqiang, SUN Yutong. Operation mode of DC power source system and state monitoring method for isolating switch[J]. Guangdong Electric Power, 2017, 30(7): 40-45.

收稿日期: 2018-10-25; 修回日期: 2019-05-29

作者简介:

黎高程(1974—), 男, 工学学士, 高级经济师, 从事电网企业管理工作;

陈晓彬(1980—), 男, 通信作者, 硕士, 教授级高级工程师, 从事继保自动化等技术管理工作; E-mail: 71006124@qq.com

孙玉彤(1965—), 男, 工学学士, 高级工程师, 从事智能电网设计研究工作。

(编辑 张爱琴)