

[失灵保护]

基于站域信息共享的失灵保护方案

文/南京南瑞继保电气有限公司 齐 岩 乐 钱 唐 俊 纪俊彬

分析传统失灵保护方案拒动作的情形，提出基于站域信息共享的失灵保护方案：依据主变压器二次电流与负荷电流在故障与非故障时电流幅值的差异性，通过主变压器二次电流和负荷电流数值信息检测，来判断断路器是否跳闸，并采用本侧与对侧电压差值信息作为母线电压闭锁判据的补充。经过理论分析及仿真验证表明，基于站域信息共享的失灵保护方案完全适用且可靠性高。

当系统发生故障，故障电气设备的主保护动作发出跳闸命令而断路器拒动作时，失灵保护依据外部跳闸信息开入及自身逻辑判定该断路器失灵，并在短的时限内切除同一厂站内相邻的断路器，或利用通道使远端断路器同时跳闸，将停电范围限制在最小范围，从而保证整个配电网的稳定运行，避免造成设备严重烧损和配电网崩溃瓦解的事故。失灵保护的判据中使用电压元件作为闭锁的条件之一，该判据简单可靠，可有效防止失灵保护误动作。但随着配电网的日益复杂，变电站与系统的联系逐渐增强，当站间的长线路末端发生故障时，母线电压并未有太大的降落，而电压闭锁元件的整定值又较低，则保护不开放，最终导致拒动作的情况发生。

针对上述问题，国内专家提出了一些新的保护判据。其中，基于电流量的失灵保护方案结构简单，但易受到负荷的影响；基于阻抗的失灵保护方案采用距离保护的原理来构成失灵保护的判据，但易受过渡电阻的影响。

综上所述，为防止失灵保护的拒动作或误动作，探索一种新型的失灵保护方案势在必行。而随着智能变电站的发展，基于站域信息的各种保护也愈发成熟，获取站内的各种电气量更为容易。本文利用站域保护系统获取故障支路与相连支路之间电流量的信息，利用基尔霍夫定律，在故障发生时检测各支路电

流流向的变化，采用本侧与对侧的电压差作为原有的电压闭锁信号的补充。经理论和仿真分析证明，该方案能有效地解决失灵保护的拒动作问题。

基于站域信息共享的失灵保护方案

1. 断路器失灵保护拒动作情况分析

变电站系统结构如图1所示。当变电站长送出线末端发生故障时（图1中 F_1 ），根据差动保护原理应该跳开断路器 BRK_1 和 BRK_2 ，当断路器失灵时，应启动断路器失灵保护。但由于故障发生在长线路末端，首端母线电压波动不明显，所以经由母线电压闭锁的断路器失灵保护并不开放。此时需要等待其他后备保护进行故障切除，这样会导致故障持续时间过长，用电设备损坏。

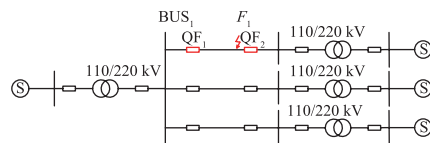


图1 变电站系统结构

2. 基于站域信息共享的失灵保护方案

站域信息共享的220 kV系统图如图2所示，其中每个子站域内的电流和电压等电气量信号经由站内SDH光纤上传至广域保护中心。广域保护中心汇集所有子站的电气量采样信息，实现可靠性高的失灵保护。

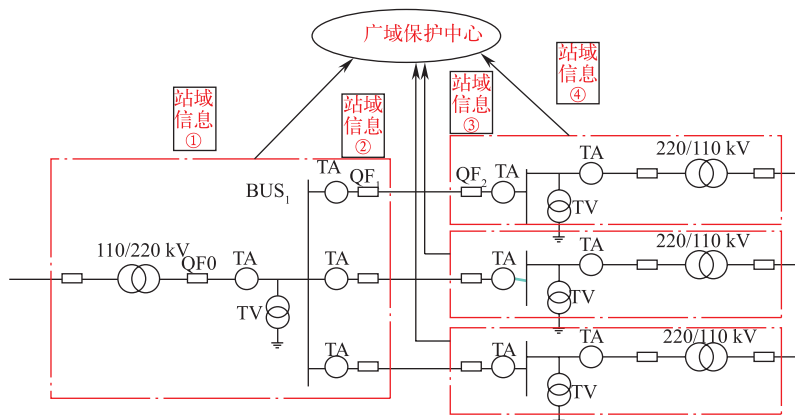


图2 基于站域保护子站及广域保护系统

基于站域信息共享的失灵保护方案具体如下：

1) 主保护发出启动信号。当发生故障时，主保护不但对断路器发出跳闸信号，同时也将动作信号发送至子站的站控层，站控层接收到主保护发出的启动信号后启动失灵保护。

2) 母线电流分布检测。当故障发生时，母线上的电流分布会发生变化，根据基尔霍夫电流定律，以母线为节点，任何时刻，流入该节点的电流等于流出该节点的电流。无故障运行母线电流分布如图3所示。以拓扑结构为例，设系统正常运行时，某时刻，主变压器二次电流和各出线电流幅值分别为 I_s 、 I_1 、 I_2 和 I_3 ，则存在

$$I_s = I_1 + I_2 + I_3 \quad (1)$$

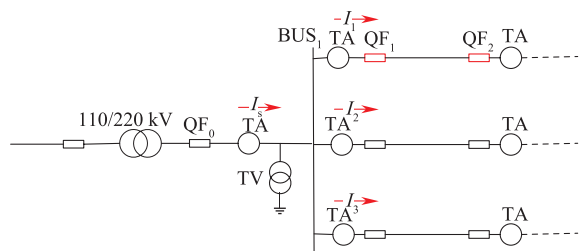


图3 无故障运行母线电流分布

当线路发生故障时，故障状态母线电流分布如图4所示，母线区域电流分布发生重构。此时 I_s 、 I_1 、 I_2 和 I_3 之间的关系变为

$$I_s + I_1 = I_2 + I_3 \quad (2)$$

根据上述分析可知，无故障状态与故障状态母线区域的电流分布是不同的。仍以图3所示拓扑结构为例，提取某时刻下主变压器二次电流幅值记为 I_{M1} ，即 $I_{M1} = I_s$ ；提取该时刻下负荷侧各出线电流幅值和记为 I_{M2} ，即 $I_{M2} = I_1 + I_2 + I_3$ 。

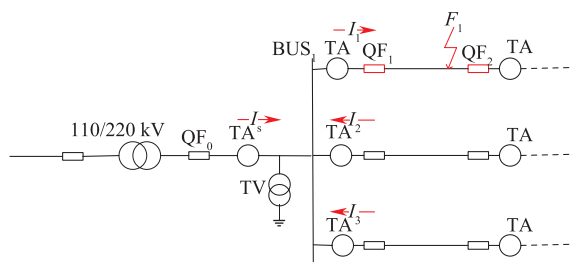


图4 故障状态母线电流分布

则正常运行时，根据式（1）可得

$$I_{M1} = I_{M2} \quad (3)$$

而当线路发生故障时，根据式（2）有

$$I_{M1} < I_{M2} \quad (4)$$

所以，本方案以正常运行时主变压器二次电流 I_{M1} 和 I_{M2} 大小关系作为失灵保护的闭锁判据之一，当 $I_{M1} = I_{M2}$ 时（系统正常运行或故障线路被切除）保护闭锁。当 $I_{M1} < I_{M2}$ 时，判断发生故障且断路器未断开，此时失灵保护开放。

3) 电压差检测。将每个变电站的子站域信息经广域通信网络上传至广域保护中心。基于各子站域信息共享，本侧和对侧的电压采样值可被利用，对原有的电压闭锁判据形成补充，即采用本侧和对侧电压幅值差进行判别，当两侧电压幅值差超过预设的门槛时，则认为故障未被切除，开放失灵保护，以增加失灵保护的可靠性。

当故障发生在线路末端时，断路器拒动作，首端母线电压的波动并不明显，原有电压闭锁判据的灵敏度不够，会发生闭锁的情况。此时，电压差检测出线路两端电压的差值大于整定值，则开放失灵保护。而当故障发生在线路中性点时，此时对侧与本侧的电压差值不明显，但母线电压波动较大，仍可依赖原有电

压判据开放失灵保护。综上所述,两种电压判据采用“或”逻辑,即若有一个判据满足,则可以开放失灵保护。断路器失灵保护逻辑如图5所示。

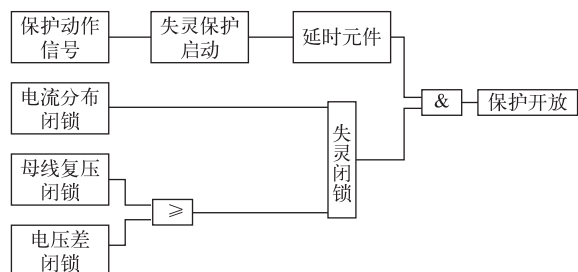


图5 失灵保护逻辑图

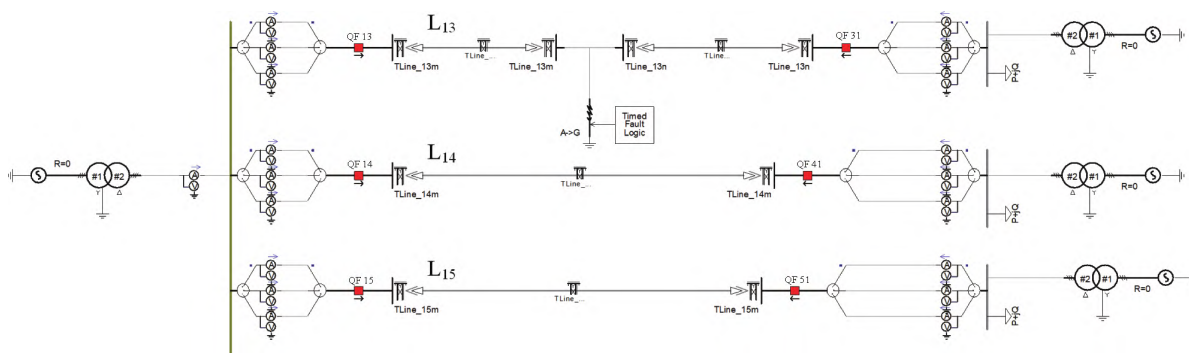


图6 PSCAD仿真模型

1. 线路L13末端发生单相故障

设置故障发生时间在0.2 s,在0.3 s时故障被切除,即故障持续时间0.1 s。仿真结果如图7~图9所示。根据仿真结果计算出的差动保护用電流量、电流分布检测 results 和电压值检测结果分别列于表1~表3。由表1可以看到,故障后差动电流大于制动电流,差动保护发出启动信号,失灵保护启动。

由表2可知,故障后母线流入电流与流出电流发生重构。无故障时, $I_{M1}=0.284$ kA, $I_{M2}=0.284$ kA,满足 $I_{M2}=I_{M1}$,保护被闭锁;发生故障后, $I_{M1}=0.588$ kA, $I_{M2}=1.396$ kA,满足 $I_{M2}>I_{M1}$,失灵保护开放。

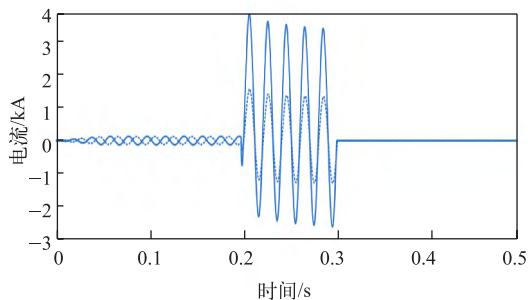


图7 L13两侧电流波形(末端故障)

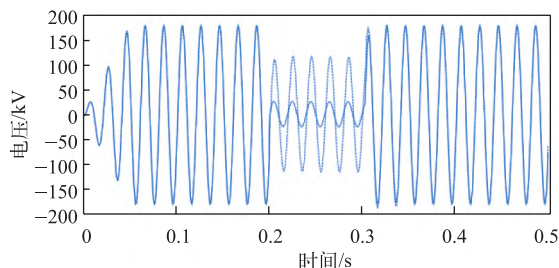


图8 L₁₃两侧电压波形(末端故障)

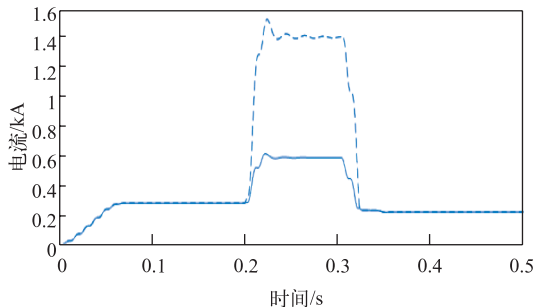


图9 I_{M1} (实线)与 I_{M2} (虚线)电流值(末端故障)

根据表3进行电压闭锁检测,发生故障后,故障相电压为81.49 kV,两侧电压差为63.65 kV。母线电压未达到低电压门槛值,但两侧电压差超过门槛

值22 kV，所以能够正确开放失灵保护。

表1 差动保护动作情况 (单位: kA)		
故障状态	差动电流	制动电流
故障前	0.040	0.161
故障后	3.092	1.281

表2 电流分布检测 (单位: kA)		
断路器状态	I_{M1}	I_{M2}
未断开	0.588	1.396
已断开	0.284	0.284

表3 电压闭锁检测 (单位: kV)		
断路器状态	故障相电压	两侧电压差
未断开	81.490	63.651
已断开	126.94	2.071

2. 线路L13中性点发生单相故障

仿真波形图如图10~图12所示。差动保护电流、电流分布和电压闭锁检测结果分别列入表4~表6。

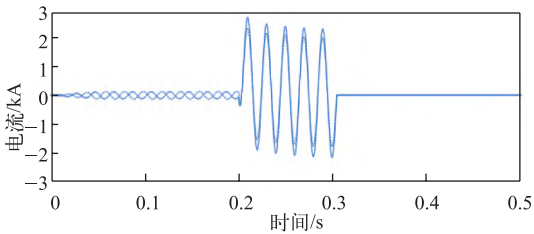


图10 L13两侧电流波形 (中性点故障)

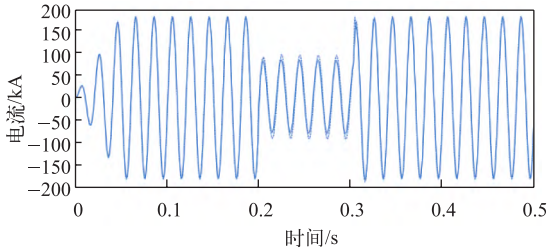


图11 L13两侧电压波形 (中性点故障)

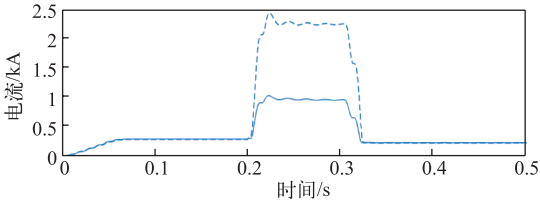


图12 I_{M1} (实线) 与 I_{M2} (虚线) 电流值 (中性点故障)

可以看到:

- 1) 失灵保护启动。差动保护动作情况见表4，故障后差动电流大于制动电流，差动保护发出启动信号，失灵保护启动。
- 2) 电流分布检测。电流分布检测见表5，故障后主变压器二次电流与负荷电流数值发生变化。故障清除时， $I_{M1}=I_{M2}$ ，保护闭锁；故障未清除，则满足 $I_{M2}>I_{M1}$ ，失灵保护开放。

表4 差动保护动作情况 (单位: kA)		
故障状态	差动电流	制动电流
故障前	0.041	0.172
故障后	2.940	0.251

表5 电流分布检测 (单位: kA)		
断路器状态	I_{M1}	I_{M2}
未断开	0.930	2.260
已断开	0.285	0.285

- 3) 电压闭锁检测。电压闭锁检测见表6，故障后故障相电压为65.300 kV，两侧电压差为8.360 kV，电压差满足启动失灵条件，即使母线电压达到低电压门槛值，失灵保护仍可正确开放。

表6 电压闭锁检测 (单位: kV)		
断路器状态	故障相电压	两侧电压差
未断开	65.300	8.360
已断开	126.921	2.101

结束语

本文提出了一种基于站域信息的失灵保护方案，优化失灵保护的闭锁判据，通过母线两侧的电流在故障发生时流向发生重构的原理，利用主变压器二次电流与负荷电流的信息实现高可靠性的电流分布检测，同时，利用各子站域信息经SDH光纤上传至广域保护中心，通过计算本侧与对侧的电压差值来进行电压闭锁保护的补充，有效防止了长线路末端发生故障，导致母线电压波动不明显而造成失灵保护拒动作的情况。经理论分析和仿真分析验证，此方案能有效地覆盖线路全长，具有较高的可靠性。本方案利用了站域信息共享的优势特性，符合未来发展趋势，有较高的应用前景。

(收稿日期: 2021-09-26)