

一种角色自识别的配电线路双向闭锁式保护方法

应用闭锁式保护可以确保配电线路多级保护间的选择性,提高供电可靠性。但已提出的闭锁式保护方案均需要出口断路器参与,且未考虑网络拓扑动态变化等问题。提出一种基于双向闭锁的保护新方法,出口断路器下游首个保护装置根据故障功率方向识别是否为电源侧边界保护,感受到故障电流的各保护装置分别向相邻保护装置发送闭锁信号,根据保护装置角色及收到的闭锁信号数量判断故障区段位置并动作。当保护拒动作或通信中断时,变电站馈出线的保护可作为远后备保护。该算法利用光纤通信技术实现保护装置间的信息交换,实现故障的准确快速定位、隔离,减小故障危害。通过实例分析验证了该算法的选择性与快速性。

俞小勇 周 杨 高立克/广西电网公司电力科学研究院



俞小勇/工程师

关键词/Keywords

配电线路保护·
保护装置·
闭锁式保护·
双向闭锁·
角色自识别·

配电网负荷数量大且沿线路不均匀分布,为了减小故障停电区域和停电时间,需要通过多级保护装置将线路划分为多个区段。区别于输电线路,配电线路一般较短,电流保护主要通过时间级差进行配合。一般保护级差为0.3 s,当保护级数过多时(如四级或更多级),这将导致出口断路器保护动作过长(>1 s),短路电流以及由此引起的电压骤降长时间存在,威胁配电网及设备安全,影响电压质量及敏感负荷的正常运行,因此常规电流保护不能满足需要四级及以上保护配合的要求^[1-3]。

近年来,配电网自动化技术,特别是基于对等通信的分布式智能控制技术^[4-6]的快速发展,为从根本上提高和改善电力系统配电线路继电保护的性能提供了契机,涌现出差动保护^[7-8]、闭锁式保护^[1,7-11]等一批新技术。对于单电源的传统配电

网,闭锁式保护实现更为简单。

文献[1]提出配电系统线路全线速切保护,采用纵联比较保护原理,选用数传电台、光纤等通信方式,并做了闭锁信号传输延时性测试,其中采用通信方式的保护系统已经投入现场试运行,运行效果良好。文献[9-11]分析了方向闭锁式过电流保护和方向允许式过电流保护的動作原理,提出了一种基于通信通道的配电网快速保护方法,该方法可有选择性地快速切除故障,实现瞬时动作隔离故障,并具有完备的后备保护。上述方法均需要出口断路器保护参与闭锁信号的发送与接收,现场一般不能满足该条件;文献[9-11]所提出的方法也未考虑配电线路负荷转供引起的网络拓扑结构变化问题。

本文针对配电线路拓扑结构可变且出线保护不参与闭锁的情况,在分析了不同位置故障特征的基础上,提出一种边界保护角色自识别的双向闭锁保护方法,给出了判据和实现流程,并利用典型故障情况进行了验证。

单向闭锁保护方法及其适应性分析

单向闭锁式保护主要适用于单电源供电的辐射型线路,如图1所示。其基本原理是:检测到过电流的保护向其上级(电源侧)保护发送闭锁信号防止其跳闸,而紧邻故障的保护由于收不到闭锁信号,经过一段时间延时后跳闸切除故障。即单向闭锁式保护判据为:线路中感受到过电流的保护装置,在一段时间 $t=$

T_1 延时时没有收到闭锁信号则向相应断路器发跳闸命令。

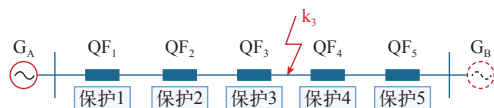


图1 单向闭锁式保护系统结构图

对于保护装置只能检测到电流信号，不能检测故障功率方向的系统，要求各保护装置的上下级关系是确定不变的，即不能适应可以通过联络开关改变电源方向的配电线路。如图1所示结构，保护1为保护2的上级，保护2为保护3的上级，保护3为保护4的上级，保护4为保护5的上级。若系统中 QF_3 断开，采用 G_A 单电源供电，当 k_3 位置发生故障时，保护1、保护2和保护3检测到过电流，分别向其上级发送闭锁信号，此时保护1、保护2收到闭锁信号，不动作，保护3未收到闭锁信号，则动作跳闸，成功切除线路故障。若系统中 QF_1 断开，线路由 G_B 单电源供电，仍是 k_3 位置发生故障，保护4、保护5检测到过电流，分别向其上级保护3、保护4发送闭锁信号。根据单向闭锁式保护判断，保护4收到闭锁信号，不动作，保护5未收到闭锁信号，则动作跳闸。事实上， G_B 单电源供电时，线路任何位置故障都将由保护5动作，虽然切除了线路故障，但扩大停电范围，严重影响配电线路的正常供电，大大降低了供电可靠性。

对于“手拉手”闭环结构、开环运行的配电线路，为适应联络开关位置改变引起的线路拓扑结构动态变化的情况，单向闭锁保护方法需要为

每个保护装置安装PT以获得电压信号，在故障后通过测量故障功率方向识别两侧哪个保护装置才是电源侧上级保护装置并发送闭锁信号。图1所示系统中5个保护装置均安装PT，系统中 QF_1 断开，采用 G_B 单电源供电，仍是 k_3 位置发生故障，保护4、保护5检测到过电流，根据故障后采集到的电压信号，判断自身上级，并向上级保护发送闭锁信号。保护5收到保护4发送的闭锁信号，不动作；保护4未收到闭锁信号，则动作跳闸，成功切除线路故障。但受投资、安装空间等因素限制，并非所有保护装置都能安装PT，实际应用受到一定制约。

基于边界开关角色自识别的双向闭锁保护原理

目前配电线路大都是“闭环设计、开环运行”的“手拉手”结构，如图2a所示，其由A、B双电源供电。 QF_1 、 QF_{10} 为出口断路器，配置的出线保护（保护1、保护10）一般采用传统保护装置，不能参与闭锁（既不能发送闭锁信号，也不能接受闭锁信号）；分段开关 $QF_2 \sim QF_9$ 采用断路器，装设相应闭锁保护装置。联络开关LB为常开状态，两边各自供电，区域1~区域6由A电源供电，区域7~9由B电源供电；供电转供时，有关断路器跳开，LB闭合，完成供电的转供。相邻保护之间设有独立的光纤通信通道^[12]，每10 ms启动握手通信，在检测到过电流时交换故障信息和闭锁信号，每套保护与相应电气开关直接联系，传递动作信息。

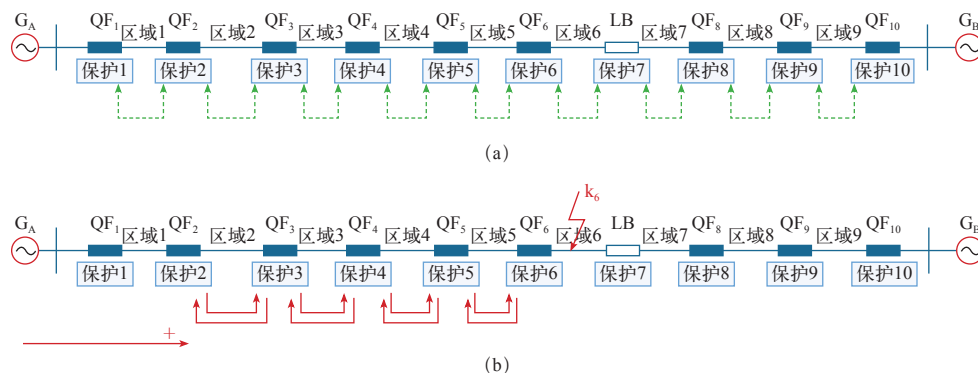


图2 典型配电线路结构图

以图2a所示的典型配电线路结构为例,说明基于角色自识别的配电线路双向闭锁式保护方法的原理。根据该系统的静态拓扑可知,保护装置 m ($m=3\sim 8$)左右两侧都有邻居,在主供电电源变化时两侧保护装置都有可能成为 m 的上级。实际中,由于联络开关LB位置不确定,且并不是每套保护装置都配有PT,所以主供电电源方向不能确定,无法确定自己的上级,因此为考虑全面,当故障发生后向左右两侧都发送闭锁信号。这样保护 m 最多可以收到两个闭锁信号;由于保护装置2和保护装置9与出口断路器相邻,处于边界位置,故最多只能收到1个闭锁信号,需特殊考虑。

对于处于边界位置的保护装置2,若区域 n ($n=3\sim 6$)位置发生故障,则保护2均收到来自保护3发送的单个闭锁信号,不应动作,应由保护 n 动作切除故障。但若LB闭合,出口断路器QF₁跳开,整条线路由电源B供电,若区域1位置发生故障,保护2虽然收到保护3发送的单个闭锁信号,但是此时保护2位于线路末端,检测过电流就应动作。综上分析,保护2每次最多只能收到一个闭锁信号,但当主供电电源变化时,有时需要保护2闭锁,有时需要保护2动作,所以仅简单地根据接受到的闭锁信号数量无法正确作出判决。因此,当故障发生后保护2首先需要判断电源主供方向。为此,要求与出口断路器相邻的保护装置应配有PT。故障发生后,先判断处于边界位置的保护装置是否与主供电电源侧出口断路器相邻,若相邻,当收到闭锁信号时不动作;若不相邻,无论是否收到闭锁信号都应动作。

对于保护装置 p ($p=3\sim 5$),若区域 $p+1$ 位置发生故障,保护 p 均收到两个闭锁信号,不动作。若区域 p 位置发生故障,保护 p 仅收到一个闭锁信号,应动作。对于此类保护,若感受到过电流,收到两个闭锁信号则不动作,收到一个闭锁信号则跳闸。

对于保护装置6,由于其与联络开关LB相邻,也处于边界位置。以如图2b所示区域6位置发生故障为例,LB断开,与其对应的保护装置7此时不发送闭锁信号,所以保护6只能收到单个闭锁信号。

但保护6位于线路末端,只要检测到过电流就应跳开切除故障,与其是否收到闭锁信号和收到多少闭锁信号无关。

当其余典型的的不同主供方不同位置故障发生时,各保护装置动作情况如表1~表4所示,此处不再详述判断过程。表1、表2分别分析了图2b中联络开关LB断开,电源A、B各供电区域发生故障时,各保护装置接收闭锁信号数量及动作情况。表3分析了联络开关LB闭合,QF₁₀跳开,区域1~9全部由A电源供电,各区域发生故障时,各保护装置接收闭锁信号数量及动作情况。表4分析了联络开关LB闭合,QF₁跳开,区域1~9全部由B电源供电,各区域发生故障时,各保护装置接收闭锁信号数量及动作情况。

表1 电源A主供方不同位置故障时各保护动作情况1

保护装置	不同区域故障时,各保护收到闭锁信号数量/动作情况					
	1	2	3	4	5	6
1	0/T	0/H	0/H	0/H	0/H	0/H
2	—	0/T	1/B	1/B	1/B	1/B
3	—	—	1/T	2/B	2/B	2/B
4	—	—	—	1/T	2/B	2/B
5	—	—	—	—	1/T	2/B
6	—	—	—	—	—	1/T

表2 电源B主供方不同位置故障时各保护动作情况1

保护装置	不同区域故障时,各保护收到闭锁信号数量/动作情况		
	9	8	7
10	0/T	0/B	0/B
9	—	0/T	1/B
8	—	—	1/T

表3 电源A主供方不同位置故障时各保护动作情况2

保护装置	不同区域故障时,各保护收到闭锁信号数量/动作情况								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0/T	0/H	0/H	0/H	0/H	0/H	0/H	0/H	0/H
2	—	0/T	1/B	1/B	1/B	1/B	1/B	1/B	1/B
3	—	—	1/T	2/B	2/B	2/B	2/B	2/B	2/B
4	—	—	—	1/T	2/B	2/B	2/B	2/B	2/B
5	—	—	—	—	1/T	2/B	2/B	2/B	2/B
6	—	—	—	—	—	1/T	2/B	2/B	2/B
7	—	—	—	—	—	—	1/T	2/B	2/B
8	—	—	—	—	—	—	—	1/T	2/B
9	—	—	—	—	—	—	—	—	1/T

表4 电源B主供方不同位置故障时各保护动作情况2

保护 装置	9	8	7	6	5	4	3	2	1
10	0/T	0/H	0/H	0/H	0/H	0/H	0/H	0/H	0/H
9	—	0/T	1/B	1/B	1/B	1/B	1/B	1/B	1/B
8	—	—	1/T	2/B	2/B	2/B	2/B	2/B	2/B
7	—	—	—	1/T	2/B	2/B	2/B	2/B	2/B
6	—	—	—	—	1/T	2/B	2/B	2/B	2/B
5	—	—	—	—	—	1/T	2/B	2/B	2/B
4	—	—	—	—	—	—	1/T	2/B	2/B
3	—	—	—	—	—	—	—	1/T	2/B
2	—	—	—	—	—	—	—	—	1/T

表1~表4中,“B”表示闭锁,“T”表示跳闸,“H”表示后备保护,“—”表示未检测到过电流。综上分析发现,边界位置保护6和保护8与中间位置保护3~5的动作情况相同,可归为一类,即检测到过电流且收到双侧闭锁信号则闭锁,如收到一侧闭锁信号或没有收到闭锁信号则动作,统称这类保护装置为中间位置保护;与出口断路器相邻的边界位置保护2区别于其他保护,其检测到过电流后,若测量到其功率方向为正,当收到一侧闭锁信号则闭锁,未收到闭锁信号则动作,功率方向为负时,应立即动作跳闸,定义这类保护装置为电源侧边界保护。

基于功率方向识别保护装置角色方法与故障电流幅值大小原理构成的双向闭锁保护作为配电线路的主保护,需整定一个小的 Δt ($\Delta t = T_2 - 0 = T_1 + t_0 + t'_0$)延时的过电流保护作为后备保护,构成完整的馈线快速保护系统。

1) 若电源A为主供电源,区域1位置故障,线路各保护装置均无法检测到过电流,故无法切除故障,必须由出线断路器 QF_1 动作跳闸。

2) 若其余某位置发生故障,经 Δt 延时后,即在故障后 $t = T_2$ 时间,若线路中仍存在过电流,这表明双向闭锁保护失效,需出线断路器 QF_1 动作跳闸切除故障。

保护判据及实现流程

1. 保护判据

由于处于电源侧边界保护与中间位置保护动

作判据不同,故分别给出相应具体判据。

1) 对于电源侧边界保护,若检测到故障过电流且功率方向为正,在时间 T_1 内未收到闭锁信号,则相应断路器动作;接收到单侧闭锁信号时不动作。若检测到故障过电流且功率方向为负,则立即动作。

2) 对于中间位置保护,检测到故障过电流,且只收到一侧闭锁信号或没有收到闭锁信号,则动作;接收到双侧闭锁信号时闭锁。

3) 后备保护:若当 $t = T_2$ 时仍能检测到过电流,则出口断路器动作。

2. 算法实现流程

基于上述分析和上节给出的保护判据,具体实施流程如图3所示。

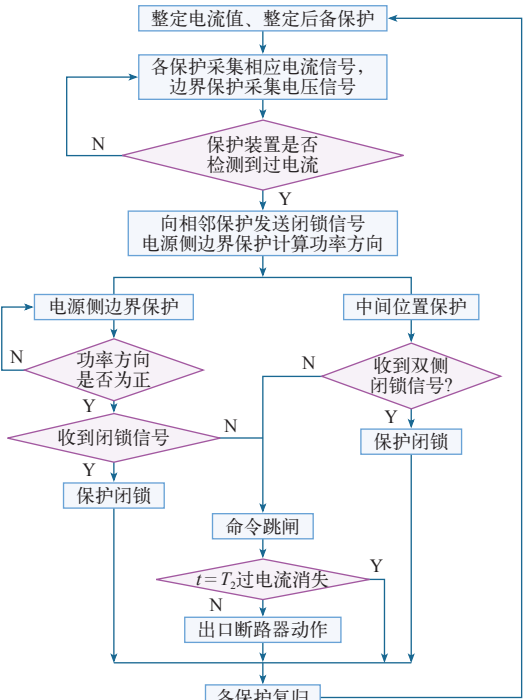


图3 算法流程图

该流程适用于电缆线路,对于部分架空线路需要加设重合闸功能,若重合失效,其查找故障流程亦如图3所示。

实例分析

1. 实例一

联络开关LB闭合, QF_1 断开,区域1~6由B电源转供,如图4所示。

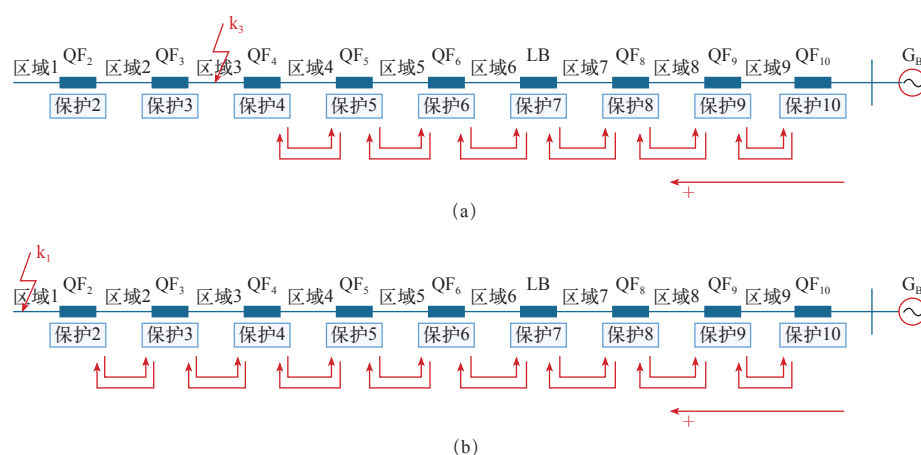


图4 区域1~6由B电源转供结构图

如图4a中若 k_3 位置发生短路故障，电源侧边界保护9检测功率方向为正，判断主供方为电源B，电源侧边界保护9、中间位置保护4~8感受到过电流。

在 $t=t_1$ 时刻，电源侧边界保护9感受到过电流接收到来自中间位置保护8一侧的闭锁信号，相应断路器闭锁，不动作；中间位置保护5~8收到来自相邻两侧的闭锁信号，相应断路器闭锁，不动作。中间位置保护4仅收到来自保护5的单侧闭锁信号，相应断路器动作。成功切除线路 k_3 处故障。

在 $t=t_2$ 时刻，线路中检测不到过电流，各保护装置复归。

如图4b中若 k_1 位置发生短路故障，电源侧边界保护9检测功率方向为正，判断主供方为电源B，电源侧边界保护2检测功率方向为负，立即动作切除线路故障。符合表4中第九行第九列期望动作情况。

在 $t=t_2$ 时刻，线路中检测不到过电流，各保护装置复归。

2. 实例二

图2中联络开关LB断开，区域1~6由A电源供电，如图5所示。保护2为电源侧边界保护装置，保护3~6为中间位置保护装置。

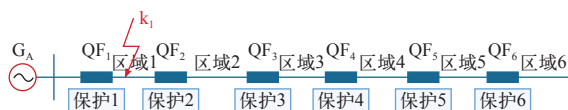


图5 区域1~6由电源A供电结构图

如图5所示，若区域1中 k_1 位置发生短路故障，只有保护1检测到过电流。其他保护装置检测不到过电流，不发闭锁信号，相应断路器不可能动作。而保护装置1既不接收也不发送闭锁信号。在延时 T_2 时间后，保护1仍能检测到过电流，后备保护起动，控制出口断路器跳闸，成功切除线路 k_1 处故障。符合表1中第一行第一列期望动作情况。

3. 实例三

负荷转供，联络开关LB闭合， QF_5 断开，此时区域5、6由B电源转供，区域1~4仍由A电源供电，如图6所示。以下仅以B电源供电区域为例分析。

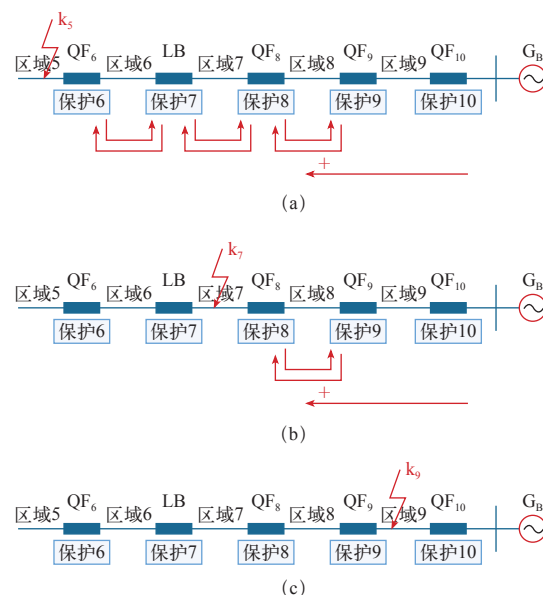


图6 区域5、6由B电源转供结构图

如图6a中若 k_5 位置发生短路故障，电源侧边

界保护9检测功率方向为正,判断主供方为电源B,电源侧边界保护9、中间位置保护6~8检测到过电流。

在 $t=t_1$ 时刻,电源侧边界保护9检测到过电流接收到来自中间位置保护8一侧的闭锁信号,相应断路器闭锁,不动作;中间位置保护7、8收到来自相邻两侧的闭锁信号,相应断路器闭锁,不动作。中间位置保护6仅收到来自保护7的单侧闭锁信号,相应断路器动作。成功切除线路 k_5 处故障。

在 $t=t_2$ 时刻,线路中检测不到过电流,各保护装置复归。

如图6b中若 k_7 位置发生短路故障,电源侧边界保护9检测功率方向为正,判断主供方为电源B,电源侧边界保护9、中间位置保护8检测到过电流。

在 $t=t_1$ 时刻,电源侧边界保护9检测到过电流接收到来自中间位置保护8一侧的闭锁信号,相应断路器闭锁,不动作;中间位置保护8仅收到来自保护9的单侧闭锁信号,相应断路器动作。成功切除线路 k_7 处故障。

在 $t=t_2$ 时刻,线路中检测不到过电流,各保护装置复归。

如图6c中若 k_9 位置发生短路故障,只有保护10感受到过电流。其他保护装置感受不到过电流,不发闭锁信号,相应断路器不可能动作。在延时 T_2 时间后,保护10仍能检测到过电流,后备保护启动,控制出口断路器跳闸,成功切除线路 k_9 处故障。

结束语

本文针对配电线路特点及供电可靠性要求,提出一种基于角色自识别的双方向闭锁保护方法,该方法既不要求出口保护装置发送闭锁信号,也不要求出口保护装置接受闭锁信号。且不需要主站参与控制信息交换,仅保护间互相交换信息,即可快速判断区段位置并动作切除,有效

地解决了配电线路的快速故障隔离和系统重构问题。在保护失败、保护拒动作或通信失败后,有出线断路器动作作为后备保护施加补救。

参考文献

- [1] 丛伟,潘贞存,郑罡,等. 配电线路继电保护系统中全线速切技术的应用[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(4): 91-95.
- [2] 王艳松. 电力工程[M]. 东营: 中国石油大学出版社, 2012.
- [3] 尹克宁. 电力工程[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [4] 徐丙垠,薛永端,李天友,等. 智能配电网广域测控系统及其保护控制应用技术[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(18): 2-9.
- [5] 蒋建国,夏娜. 基于MAS的分布式智能控制初探[J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2005, 28(9): 1085-1088.
- [6] 顾伟军,彭亦功. 智能控制技术及其应用[C]. 工业仪表与自动化学术会议, 2006.5,27: 101-104.
- [7] 贺家李,李永丽,董新洲,等. 电力系统继电保护原理[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
- [8] 张保会,尹项根. 电力系统继电保护[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.
- [9] 周念成,贾延海,赵渊. 一种新的配电网快速保护方案[J]. 电网技术, 2005, 29(23): 68-73.
- [10] 肖永,邹庆,周念成. 配电线路快速保护原理及分析[J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2004, 27(11): 30-33.
- [11] 王建辉. 电网配电线路快速保护工作原理探讨[J]. 科技与企业, 2011(9): 125-126.
- [12] 唐爱红,程时杰. 配电网自动化通信系统的分析与研究[J]. 高电压技术, 2005, 31(5): 73-75.

(收稿日期: 2015-03-09) EA

声 明

本刊2015年第18期刊登的《配电变压器励磁电流无功补偿的研究与应用》撤销,特此声明。

《电气应用》编辑