

具有相继速动特性的无通道保护研究

为了解决现有的许多无通道保护无法实现全线速动的问题,提出了一种具有相继速动特性的无通道保护方法。利用故障发生后对端断路器断开所造成本端检测到的电气量变化为依据,同时和三段式零序电流保护配合加速跳开本端断路器,从而实现全线相继速动。并且对于配置单相重合闸的线路,通过重新整定其最小重合时间提高了重合成功率,缩短了停电时间。PSCAD仿真实验证明对于各种不对称故障和配置单相重合闸的线路,此方案均能可靠动作。

孔 涛¹ 贾明娜² 孙桂花¹/1.山东理工大学电气与电子工程学院 2.山东科汇电力自动化股份有限公司

0 引言

传统的中低压配电网主要为单电源辐射状网络,配置三段式电流保护、距离保护等均可满足其供电可靠性要求。但随着配电网结构的愈加复杂化,传统的继电保护方法则表现出一定的局限性。三段式电流保护和距离保护虽然能通过三段的配合保护线路全长,但不能实现全线速动,尤其在两端供电网络,仍有30%~40%的区域需要Ⅱ段延时才能完全切除故障^[1]。纵联保护虽然很好地实现了全线速动,但是需另外架设通道。过电流保护通过时间延时的配合来整定,越靠近电源侧时间延时越大,因此对于重要负载不能满足其速动性要求^[2]。

具有相继速动特性的无通道保护实际上是自适应保护的一种^[3-4]。此保护仅仅依靠单端工频电气量的变化就能获取对端断路器的情况以及故障区段,从而在区内故障时加速跳开本端断路器^[5-7]。

国内对于具有相继速动特性无通道保护的研究主要集中在双回线相继速动和不对称相继速动^[8]。文献[9-11]利用双回线特殊的网络结构,在故障发生后同侧的两个继电器互发闭锁信号实现了线路的相继速动。但此方法只适用于双回线路,对于其他供电网络保护判据将失效。文献[12-13]提出了将无通道保护与距离保护配合使用的方案,利用对端断路器断开后本端非故障相电流变为0为依据加速距离保护Ⅱ段动作。但线路在轻载、空载条件下短路此方法容易发生误判断,并且在允许单相重合闸的线路上此方法也不再适用。

在实际配电网中绝大多数故障为单相接地故障,占60%~85%;其次是两相故障(包括对地短接),不到15%;而三相故障的比例则不到5%^[14]。由此可见,大部分为不对称故障且单相接地故障所占比例最大。本文介绍了一种具有相继速动特性的无通道保护方法,以非故障相电流突变与零序负序电流二次突变为依据,并与三段式零序电流保护相配合实现了全线相继速动,对于配置单相重合闸的线路也能正确动作。

1 保护原理

在中低压配电网中,单相接地故障占很大比例,因此一般配置零序电流保护。但在两端供电网络中,零序Ⅰ段保护并不能保护线路全长,仍有部分线路需以Ⅱ段延时切除故障。如图1所示,F点发生单相接地故障,当故障点处于右侧保护Ⅰ段范围内、左侧保护Ⅰ段范围



孔 涛/硕士研究生

关键词/Keywords

配电线路·
相继速动·
无通道保护·
单相重合闸·

863计划先进能源技术领域智能电网高级分析与优化运行关键技术重大项目(2012AA050213)。

外Ⅱ段范围内时,虽然右侧保护能瞬时断开断路器,但左侧保护仍要以Ⅱ段延时才能彻底将故障切除。当线路正在为一些敏感负载或重要设备供电时,并不能满足其供电可靠性要求。

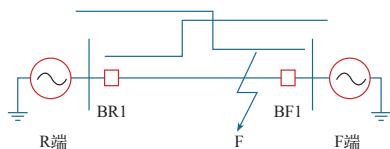


图1 双电源F点故障图

具有相继速动特性无通道保护的基本原理是:当发生不对称故障时,对于允许三相连跳的线路,故障相电流增大,非故障相电流基本不变。对端断路器首先动作跳闸,引起系统结构变化;本端继电器感受到对端断路器跳闸所引起的非故障相电流发生的突变,则认定对端断路器断开。对于配置单相重合闸的线路,当发生单相接地故障时,系统由正常状态变为故障状态,零序和负序分量发生第一次突变,此时对端断路器首先由速断保护跳开故障相,引起零序和负序分量发生第二次突变,本端继电器检测到序分量的两次突变,则认为对端断路器断开。

由于对端断路器断开后不仅本端继电器能感受到电气量的变化,上级线路继电器也能感受到此变化,因此容易发生误判断。为了解决这个问题,规定只有当本端零序Ⅱ段保护连续动作且不返回时,则认定为区内故障,从而加速跳开本端断路器;否则认定为区外故障不动作,以此保证保护的选择性。保护原理如图2所示。

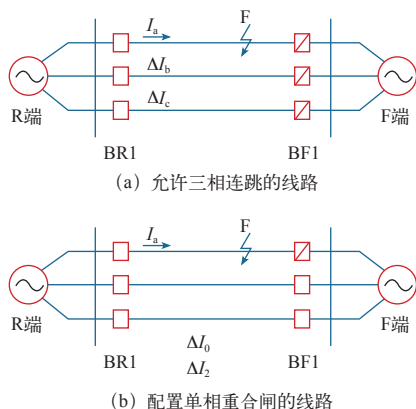


图2 保护原理

2 相继速动保护的整定

2.1 保护动作判据

由保护原理可知,保护要正确动作需要满足两个条件:①判断对端断路器跳闸;②判断故障为区内故障。

为判定以上条件是否成立,给出如下判据:

1) 差值判据。在允许三相连跳的线路中,用于检测非故障相电流是否突变,从而判断对端断路器是否跳闸,即

$$I_s(k) = |I(t) - I(t-T)| \quad (1)$$

式中, $I(t)$ 为非故障相某一时刻电流采样值; $I(t-T)$ 为非故障相上一个周期的电流采样值; t 为采样时间; T 为周期。

理论上来说,当 $I_s(k) > 0$ 时,则认为对端断路器断开,但在实际中要躲过正常运行时电流波动和故障时非故障相电流振荡,因此需设定一个门槛值 $I_{s.set}$,只有当 $I_s(k) > I_{s.set}$ 时,才认定对端断路器断开。

2) 突变量判据。在配置单相重合闸的线路中,由于对端断路器仅跳单相,因此对于非故障相电流不可能满足差值判据。此时应检测零序和负序电流分量的二次突变量。第一次突变由故障引起,第二次突变由对端断路器跳闸引起。当检测到第二次突变后,才认定对端断路器跳闸。

3) 区间判据。与零序电流保护配合,用于判断故障发生在区内还是区外,即保证动作的选择性,即

$$I_0(t) > I_{0.set}^{II} \quad (2)$$

式中, $I_0(t)$ 为某一时刻零序电流采样值; $I_{0.set}^{II}$ 为零序Ⅱ段整定值。当零序Ⅱ段可靠启动且不返回时,则认定为区内故障。

2.2 重合闸时间的整定

对于配电网,无通道保护时间的整定和重合闸时间的整定都很困难。为避免重合到永久性故障扩大故障范围,此处采用重合闸后加速保护,重合闸方式为快速自动重合闸。不同于单电源线路,双电源线路可能以不同时限跳闸,为保证故

障点电弧熄灭、绝缘强度恢复，双电源线路必须在两端断路器都断开之后再进行重合。每一处重合闸时限的整定都必须以本端先跳闸对端后跳闸为依据。

在不配置具有相继速动特性的无通道保护时，其重合闸动作时限配合如图3a所示。设本侧零序Ⅰ段的动作时限为 $t_{0,F}^I$ ，断路器动作时间为 $t_{QF,F}$ ，对侧零序Ⅱ段的动作时限为 $t_{0,R}^{II}$ ，断路器动作时间为 $t_{QF,R}$ ，再考虑到灭弧时间及介质去游离时间 t_u ，则F侧重合闸最小重合时间整定为

$$t_{ARD} = t_{0,R}^{II} + t_{QF,R} + t_u - t_{0,F}^I - t_{QF,F} \quad (3)$$

F侧断路器重合成功的总时间为

$$\begin{aligned} t_s &= t_{0,R}^{II} + t_{QF,R} + t_u \\ &= t_{0,F}^I + t_{QF,F} + t_{ARD} \end{aligned} \quad (4)$$

由于两端供电网络的特殊性，重合闸时间如果过长，对于配置快速自动重合闸的系统而言容易失去同步。考虑到极限情况，当 $t_{0,R}^{II} > 0.6$ s时，再加上断路器断开时间及灭弧时间，导致最小重合时间 t_{ARD} 很大，重合闸时可能失去同步，使重合闸失败，因此应尽量缩小最小重合时间。

在配置具有相继速动特性的无通道保护时，对侧断路器不再以Ⅱ段时限跳闸，因此其最小重合时间应重新整定。重合闸动作时限配合如图3b所示，其F侧最小重合时间整定为

$$t'_{ARD} = t'_{0,R} + t_{QF,R} + t_u - t_{0,F}^I - t_{QF,F} \quad (5)$$

本侧断路器重合成功的总时间为

$$\begin{aligned} t'_s &= t'_{0,R} + t_{QF,R} + t_u \\ &= t_{0,F}^I + t_{QF,F} + t'_{ARD} \end{aligned} \quad (6)$$

式中， $t'_{0,R}$ 为相继速动保护加速后的动作时限，要远小于零序Ⅱ段时限 $t_{0,R}^{II}$ ，即 $t'_{0,R} < t_{0,R}^{II}$ 。

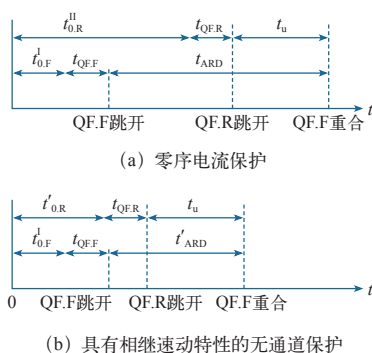


图3 重合闸动作时限配合示意图

由式(3)、式(5)可知，整定后的最小重合时间要远小于之前的最小重合时间，即 $t'_{ARD} < t_{ARD}$ ，时间越少则系统越不易失去同步，重合闸成功率会大大提高。由式(4)、式(6)可知，重合闸所用总时间也大大缩短了，即 $t'_s < t_s$ ，因此也减少了用户停电时间。

3 仿真研究

为了验证该方案的可行性，采用PSCAD软件进行建模仿真，配电系统如图4所示。该系统为35 kV两端供电网络，两端电源夹角为 30° 。L1、L2和L3为三段架空线，线路采用贝杰龙模型，长度均为5 km，线路参数为：正序阻抗 $Z_1 = 0.16 + j4.24e^{-5} \Omega/\text{km}$ ，正序电纳 $B_1 = 5.0e^{-7} + j2.73e^{-10} \text{ S/km}$ ，零序阻抗 $Z_0 = 0.16 + j2.26e^{-4} \Omega/\text{km}$ ，零序电纳 $B_0 = 5.0e^{-7} + j1.9e^{-10} \text{ S/km}$ 。其中BR1、BR2、BR3、BF1、BF2和BF3为断路器，R1、R2、R3、F1、F2和F3为对应的继电器。仿真时间设为0.3 s，计算步长设为50 μs ，绘图步长设为250 μs ，故障发生时间设定为0.05 s，故障类型为永久性故障，故障点位于F2的一段保护范围R2的二段保护范围内。

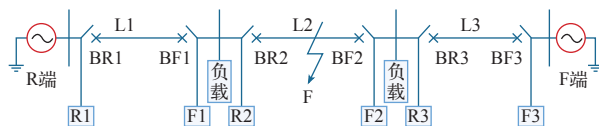


图4 两端供电网络配电系统

系统配置三段式零序电流保护和具有相继速动特性的无通道保护，R2处零序Ⅱ段的整定值为 $I_{\text{set},R2}^{II} = 132$ A，R1处零序Ⅱ段的整定值为 $I_{\text{set},R1}^{II} = 163$ A。重新整定的重合闸最小重合时间 $t'_{ARD} = 0.11$ s。

3.1 两相接地短路

当线路L2在 $t = 0.05$ s发生BC相接地短路时，F2处三相电流响应如图5所示。由图5可见，在继电器F2处检测到BC相电流急剧增大，而A相电流基本不变，此时虽然继电器R1、R2、F2和F3均检测到故障发生，但由于F2的零序Ⅰ段保护首先动作经0.1 s后，即 $t = 0.15$ s时瞬时断开断路器BF2，

各相电流变为0。

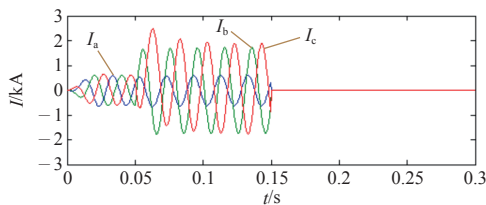


图5 F2处三相电流响应

当断路器BF2断开后,线路L3与故障隔离,但是线路L1、L2故障仍然存在。此时继电器R2处检测到三相电流波形如图6所示。由图6可见,当 $t = 0.15$ s时,断路器BF2断开,BC相短路电流仍然存在,但非故障相A相电流会发生一个很大突变。图7为A相的差值判据情况,可见继电器R2在0.15 s时检测到差值判据成立,则认定对端断路器断开;同时检测到R2处零序电流为 $I_{0,R2} = 147$ A $> I_{set,R2}^{\text{II}}$,则认定为区内故障。考虑到无通道保护的计算时间和断路器熄弧时间,保护将于0.21 s时加速跳开本端断路器BR2,此时故障线路L2切除,三相电流变为0。继电器R1处电流波形与图6类似,虽然BF2跳闸时R1处也能检测到差值判据成立,但此时检测到R1处零序电流为 $I_{0,R1} = 153$ A $< I_{set,R1}^{\text{II}}$,区间判据不成立,因此认为是区外故障不动作。

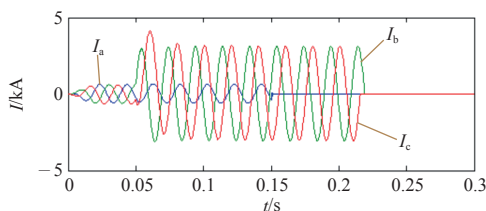


图6 R2处三相电流响应

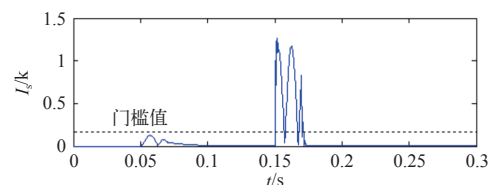


图7 R2处差值判据

3.2 单相接地短路

当线路L2在 $t = 0.05$ s时发生A相接地短路, F2处三相电流响应如图8所示。由图8可见,在继电器F2处检测到的A相电流急剧增大,而BC相电流基本不变,此时虽然继电器R1、R2、F2和F3检

测到故障发生,但由于F2的零序 I 段保护首先动作,经0.1 s后,即 $t = 0.15$ s时跳开故障相A相,等待对端跳闸后进行重合闸。

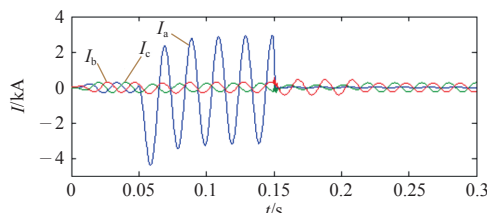


图8 F2处三相电流响应

当断路器BF2跳开A相后,本端继电器R2处检测到三相电流波形如图9所示。由图9可见,当 $t = 0.15$ s断路器BF2单相跳闸后,A相短路电流仍然存在,此时虽然BC相电流会有一个很小的突变,但有可能因无法越过门槛值而拒动作,因此需检测突变量判据,如图10所示。在 $t = 0.05$ s时故障发生,零序和负序电流会发生第一次突变,在 $t = 0.15$ s断路器BF2单相跳闸后,零序和负序电流会发生第二次突变。当检测到二次突变时,则认定对端断路器断开;同时检测到R2处零序电流为 $I_{0,R2} = 142$ A $> I_{set,R2}^{\text{II}}$,则认定为区内故障,考虑到

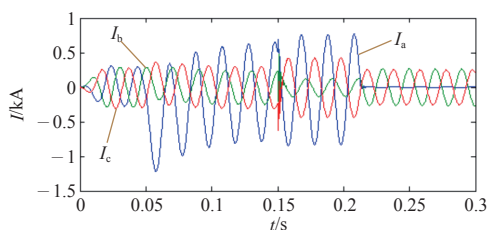
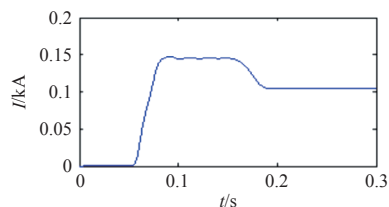
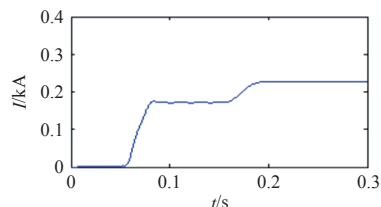


图9 R2处三相电流响应



(a) 零序电流有效值



(b) 负序电流有效值

图10 R2处突变量判据

无通道保护的计算时间和断路器熄弧时间,保护将于0.21 s时加速跳开本端断路器BR2的故障相A相,经过重新整定的重合闸最小重合时间 t'_{ARD} 后进行单相重合闸,因此处故障为永久性故障,所以由后加速保护于 $t=0.32$ s时发出断路器跳闸命令,经0.03 s断路器灭弧,最终于 $t=0.35$ s时实现故障隔离。此时,虽然BF2跳闸时R1处也能检测到突变量判据成立,但此时检测到R1处零序电流为 $I_{0,R1}=156\text{ A}<I_{\text{set},R1}^{\text{II}}$,区间判据不成立,因此认为是区外故障不动作。

3.3 方案性能对比

仅配置零序电流保护和具有相继速动特性的无通道保护两种保护方案,具有重合闸线路和不具有重合闸线路时切除故障所需的时间如下表所示。由表可见,具有相继速动特性的无通道保护在不配置重合闸的线路上完全切除故障仅需0.21 s,明显优于传统的零序电流保护。在配置重合闸的线路上完全切除故障也仅需0.35 s,大大缩短了重合时间,有效地防止了系统失去同步。

表 完全切除故障所需时间

	切除故障时间/s	
	三段式零序电流保护	具有相继速动特性的 无通道保护
不配置重合闸	0.5	0.21
配置单相重合闸	0.93	0.35

4 结束语

本文提出了一种与零序电流保护相配合的具有相继速动特性的无通道保护方法。当故障发生时,对于允许三相连跳的线路和配置单相重合闸的线路分别以非故障相电流突变和序分量的变化为判据,加速本端断路器跳闸动作,弥补了三段式零序电流保护不能实现全线速动的问题。并且对于配置单相重合闸的线路,大大缩短了重合时间。该方法判据简单无须通道,大大缩短了停电时间,提高了供电可靠性。

参考文献

[1] 张保会,尹项根.电力系统继电保护[M].2版.

北京:中国电力出版社,2009.

- [2] 蔡超豪.微电网无通道保护研究[J].沈阳工程学院学报:自然科学版,2012,8(3):224-227.
- [3] 陈国建.全线相继速动距离保护新原理及其分析[J].电力系统自动化,1993,17(12):46-49.
- [4] 蔡楚荣,周强强,李志雷.全线相继速动保护新原理及其分析[J].电力科学与工程,2010,26(5):11-16.
- [5] 刘建凯,董新洲,薄志谦.有分支配电线路无通道保护研究[J].电力系统自动化,2003,27(1):37-41.
- [6] Chen D S, Liu P, Peng H, et al. Analysis of an accelerated trip scheme for faults in the second zone of protection of a transmission line [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1990, 5 (1): 72-78.
- [7] Chen D S, Liu P, Peng H, et al. Accelerated trip scheme for faults in the second zone of protection of a transmission line [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1989, 4 (2): 942-948.
- [8] 张西利,张春合,赵厚滨.具有全线相继速动特性的单端保护的应用[J].电工技术,2006(2):1-4.
- [9] 张梓望.110 kV双回线路相继速动保护模拟实验方法[J].电力系统自动化,2002,26(21):77-78.
- [10] 董新洲,李幼仪,薄志谦.双回线无通道保护研究(一)故障分析和保护原理[J].电力系统自动化,2004,28(11):53-56.
- [11] 李幼仪,董新洲,孙元章,等.双回线无通道保护研究(二)仿真实验[J].电力系统自动化,2004,28(12):56-59.
- [12] 王玉洁,余荣强.不对称相继速动保护在电网中的应用[J].云南电力技术,2013,41(1):87-88.
- [13] 崔大铭,肖榕.不对称故障相继速动保护研究[J].中国电机:技术版,2014(5):35-37.
- [14] 徐丙垠,李天友,薛永端.智能配电网建设中的继电保护问题[J].供用电,2012,29(1):12-17.

(收稿日期:2015-08-10) **EA**