

基于短路功率方向和通信方法的自适应电流速断保护

孙长文, 吕艳萍, 骆德昌

(武汉大学电气工程学院,湖北 武汉 430072)

摘要: 传统的电流速断保护和现有的自适应电流速断保护不能保护线路全长,且其保护范围会随系统运行方式的变化而改变。在分析这两种保护的保护范围的基础上,给出了一种可保护线路全长的自适应电流速断保护原理:借助于通信手段发送相邻保护的短路功率方向信号以确保选择性的自适应电流速断保护,并将其性能与前两种电流速断保护的进行了比较。

关键词: 电流速断保护; 自适应; 短路功率方向; 通信方法; 性能分析

中图分类号: TM771 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2004)10-0019-04

0 引言

传统的电流速断保护的保护区受系统运行方式、短路类型的影响,在系统最小运行方式和最不利的短路条件下,保护区将大大缩小,甚至失去保护区。现有的自适应电流速断保护的保护区较传统的电流速断保护而言已有显著增大,但仍不能保护线路全长,而且仍会随系统运行方式的变化而改变。自适应继电保护的突出特点就是能根据系统运行方式的变化和故障类型的不同,自动地改变保护的定值,从而使保护工作于最佳状态。计算机技术和通信技术的飞速发展,为自适应保护原理的实现奠定了基础。本文分析了传统电流速断保护和现有的自适应电流速断保护的特点和不足,给出了一种可以保护线路全长的自适应电流速断保护,并且对其性能进行了分析比较。

1 传统的电流速断保护的保护区^[1,2]

由于电流速断不带时限而动作,为满足选择性的要求,其定值必须按躲开最大运行方式下,相邻线路出口处三相短路时流过保护的电流 I_{Fmax} 来整定,即

$$I_{ZD} = K_K I_{Fmax} = \frac{K_K E}{Z_{Smin} + Z_L} \quad (1)$$

式中: E 是等效电源的相电势, Z_{Smin} 是等效电源到保护安装处的最小阻抗, Z_L 是被保护线路的正序阻抗, K_K 是可靠系数,一般取 1.2~1.3。

实际上,短路电流的大小与系统运行方式、短路类型以及短路位置有关。设在保护区 Z_L (为保护区系数,取 0.1) 处发生短路,则短路电流为

$$I_{DL} = \frac{K_d E}{Z_S + Z_L} \quad (2)$$

式中: Z_S 为等效电源到保护安装处的实际阻抗, K_d 为故障类型系数,三相短路时取为 1,两相短路时取为 $\sqrt{3}/2$ 。

如果令 I_{ZD} 和 I_{DL} 相等,则由式(1)和式(2)可以求得实际的保护区:

$$= \frac{K_d (Z_{Smin} + Z_L) - K_K Z_S}{K_K Z_L} \quad (3)$$

从式(3)中可以看出:传统的电流速断保护的保护区受系统运行方式、短路类型的影响。由于 $K_d \geq 1$, $K_K > 1$, $Z_S \geq Z_{Smin}$,因此实际的保护区总是小于系统最大运行方式下的保护区,而且保护区随 K_d 的减小和 Z_S 的增大而缩短。传统的电流速断保护不能保护线路全长,并且当 $Z_S = \frac{K_d}{K_K} (Z_{Smin} + Z_L)$ 成立时,保护区将为零。更为严重的是在低压配电网中,由于短线路很多,相邻线路的电流速断保护整定值相差很小,经常出现一处短路,多处速断保护同时动作跳闸,即速断保护失去选择性的情况。

2 现有的自适应电流速断保护的保护区^[2]

为了克服传统的电流速断保护的不足,文献[2]提出了自适应电流速断保护的原理,其整定值按系统运行方式和短路类型的不同作自适应修改,表达式为:

$$I_{ZD} = \frac{K_K K_d E}{Z_S + Z_L} \quad (4)$$

可见,只要实时确定短路类型系数 K_d 和系统等效电源到保护安装处的实际阻抗 Z_S ,就可按式(4)求出自适应电流速断保护的整定值 I_{ZD} 。若令

I_{ZD} 和 I_{DL} 相等,则可以由式(2)和式(4)求得现有自适应电流速断保护的保护区范围:

$$= \frac{Z_L - (K_K - 1) Z_S}{K_K Z_L} \quad (5)$$

由此可见,通过在自适应电流速断保护整定计算公式中引入故障类型系数 K_d ,可使保护区不受故障类型的影响,但仍然会受系统运行方式的影响,随着 Z_S 的增大保护区将减小。虽然现有的自适应电流速断保护的保护区范围的稳定性已较传统速断保护有较大幅度的提高,但是它仍然不能保护线路全长,并且当 $Z_S = Z_L / (K - 1)$ 时,保护区为零。

3 基于短路功率方向和通信方法的自适应电流速断保护的基本原理

传统的电流速断保护是按躲开系统最大运行方式下相邻线路出口处三相短路电流整定的,这种按最严重的条件确定保护定值的方法,能保证所有可能的正常和故障条件下保护都不会错误地切除被保护的线路。但是,这种设定定值的方法不但不可能保护线路的全长,而且在其它运行方式下保护区将会缩小,更为严重的是,在最小运行方式或不利的短路条件下,可能没有保护区,起不到保护作用。而现有的自适应电流速断保护的整定值虽然是按系统运行方式和短路类型的实际情况确定的,而且可以随系统运行方式的变化和短路类型的不同作自适应修改,其保护区已较传统电流速断保护有了大幅度提高,但是它仍然不能保护线路的全长,其保护区仍然会受到系统运行方式的影响,在系统较小运行方式下保护区将会缩小,而且保护区为零的可能性仍然存在。

3.1 基于短路功率方向和通信方法的自适应电流速断保护的整定方法

为了克服传统电流速断保护和现有自适应电流速断保护的缺点,同时保留现有自适应电流速断保护的优点,可以将现有的自适应电流速断保护定值的整定方法加以改进,即仍然考虑系统运行方式和短路类型的影响,保留式(4)中的等效电源到保护安装处的实际阻抗 Z_S 和短路类型系数 K_d ,而去掉大于1的可靠系数 K_K ,同时在线路阻抗前加上一个保护区系数,从而可得到改进的自适应电流速断保护的整定值为:

$$I_{ZD} = \frac{K_d E}{Z_S + Z_L} \quad (6)$$

电流速断保护主要用于 35 kV 及以下电压等级

的配电网中,而 35 kV 及以下配电网有长、短线并存的特点,因此如果都按相同的可靠系数来整定,那么对于短线路来说,其保护区很小,甚至没有保护区。为了保证改进后的自适应电流速断保护能保护线路全长,考虑到电流互感器和电压互感器的误差以及计算误差,保护区系数可取 1.11.2。

3.2 基于短路功率方向和通信方法的自适应电流速断保护的选择性^[1,3]

按照继电保护选择性的要求,发生短路时应由距离故障点最近的保护动作跳闸切除故障。由于保护区系数取 1.11.2,使得相邻线路出口处短路时保护有可能动作,这样就失去了选择性。为了保证保护动作的选择性,在此利用了通信技术来传递短路功率方向信号,在线路发生故障,保护装置的启动元件动作后,立即向与本保护有直接电气联系的相邻保护发出短路功率方向信号,同时仅接收从故障侧相邻保护装置发出的短路功率方向信号,结合自适应电流整定值,决定是否动作。

根据短路功率方向和短路电流大小决定各保护闭锁或动作的规则是:在保护的短路侧,如果所有相邻保护的短路功率方向或与该保护的短路功率方向相反,或该保护未检测到相邻保护的短路功率方向信号时,该保护应该开放,此时若短路电流大于整定值,则保护动作;而只要在保护的短路侧有一个相邻保护的短路功率方向与本保护相同,本保护应该闭锁。

考虑到配电网拓扑结构复杂,具有多级短线分支、环网结构和 T 形接线等结构特点,下面分四种情况详细地说明在基于短路功率方向和通信方法的自适应电流速断保护中是如何利用短路功率方向判定和通信手段相结合的方法来确保保护的选择性的。

1) 单侧电源网络中保护的选择性

图 1 所示为一单电源网络。

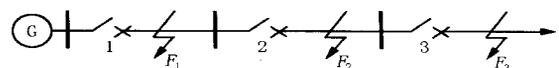


图 1 单电源网络

Fig. 1 Single power source network

若在 F_3 处发生短路,对于保护 2 来说,其短路侧的相邻保护是保护 3,而保护 3 的短路功率方向与保护 2 的短路功率方向相同,因此短路发生后,保护 3 立即向保护 2 发送短路功率方向信号,保护 2 接收到保护 3 发来的短路功率方向信号后立即闭锁;同理对于保护 1 来说,其短路侧的相邻保护是保

保护 2, 保护 2 的短路功率方向与保护 1 的短路功率方向相同, 因此短路发生后, 保护 2 立即向保护 1 发送短路功率方向信号, 保护 1 接收到保护 2 发来的短路功率方向信号, 它也被闭锁; 而对于保护 3 来说, 其短路侧已没有相邻保护了, 因此保护 3 检测不到短路侧相邻保护发来的短路功率方向信号, 且短路发生后流过保护 3 的短路电流大于其整定值, 所以它瞬时动作, 切除故障。

如果在 F_2 处发生短路, 对于保护 1 来说, 其短路侧的相邻保护是保护 2, 而保护 2 的短路功率方向与保护 1 短路功率方向相同, 因此短路发生后, 保护 1 闭锁; 此时流过保护 3 的电流很小, 所以不会误动, 也不会发出短路功率方向信号; 而对于保护 2 来说, 由于检测不到短路侧相邻保护 3 的短路功率方向信号, 且短路发生后流过保护 2 的短路电流大于其整定值, 所以正确动作切除故障。

如果在 F_1 处发生短路, 则保护 1 瞬时动作切除故障, 保护 2 和保护 3 闭锁。具体分析过程可参照 F_2 处短路时的分析过程。

2) 双侧电源网络中保护的选择性

图 2 所示为一双侧电源网络。

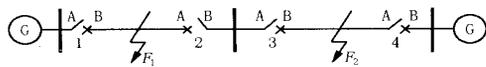


图 2 双侧电源网络

Fig. 2 Double power sources network

若在 F_1 点发生短路, 对于保护 1 来说, 在它的短路侧与其有直接电气联系的保护只有保护 2, 而保护 2 的短路功率方向与保护 1 的短路功率方向相反, 保护 1 不被闭锁, 此时流过保护 1 的短路电流大于其整定值, 故保护 1 瞬时动作跳闸; 同理对于保护 2 来说, 在它的短路侧与其有直接电气联系的保护只有保护 1, 而保护 1 的短路功率方向与保护 2 的短路功率方向相反, 保护 2 不被闭锁, 此时流过保护 2 的短路电流大于其整定值, 故保护 2 也瞬时动作跳闸; 而对于保护 3、4 来说, 在它们的短路侧相邻保护的短路功率方向均与自身的短路功率方向相同, 因此它们被闭锁。

若在 F_2 点发生短路, 情形与在 F_1 点短路类似, 可知保护 3、4 动作跳闸, 而保护 1、2 闭锁。

3) 双侧电源带分支线路保护的选择性

图 3 所示为一双侧电源带分支网络的接线图。

若 F_1 点发生短路, 对于保护 1 来说, 其短路侧相邻保护仅有保护 2, 而保护 1、2 的短路功率方向

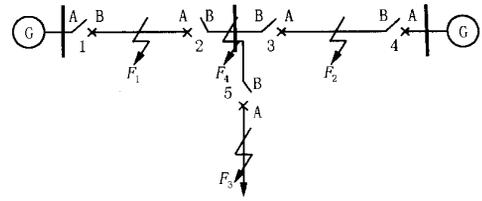


图 3 双侧电源带分支网络

Fig. 3 Double power sources network with branches

相反, 且此时流过保护 1 的短路电流大于其整定值, 故保护 1 瞬时动作; 同理保护 2 也瞬时动作; 此时保护 3 和保护 5 的短路功率方向相同, 而它们又互为仅有的短路侧相邻保护, 故它们均闭锁; 保护 4 的短路侧相邻保护仅有保护 3, 而保护 3 的短路功率方向与保护 4 的短路功率方向相同, 故保护 4 被闭锁。

若 F_2 点短路, 保护 3、4 动作, 保护 1、2、5 闭锁。可参照 F_1 点短路时的情形进行分析, 在此不再赘述。

如果分支线路上 F_3 点发生短路, 则对于保护 5 来说, 由于其短路侧已无相邻保护, 因此保护 5 检测不到短路侧相邻保护的短路功率方向信号, 且流过保护 5 的短路电流大于其整定值, 所以保护 5 瞬时动作, 切除故障。对于保护 2 来说, 其短路侧相邻保护为保护 3 和保护 5, 而保护 3 的短路功率方向与保护 2 的短路功率方向相同, 故保护 2 被闭锁。同理, 保护 1、3、4 均被闭锁。

若 F_4 点发生短路, 则保护 5 失电, 它不会动作, 也不发出短路功率方向信号; 保护 2 接收不到短路侧相邻保护 5 的短路功率方向信号, 立即闭锁; 同理保护 3 也因接收不到保护 5 的短路功率方向信号, 也立即闭锁; 保护 1 的短路侧相邻保护是保护 2, 它们的短路功率相同, 所以保护 1 被闭锁; 同理保护 4 也因其短路侧相邻保护 3 的短路功率方向相同而被闭锁。也就是说在 F_4 处发生短路, 保护 1、2、3、4、5 均不动作, 故障将由母线保护切除。

4) 环形网络的选择性

如图 4 所示是一简单环形网络。

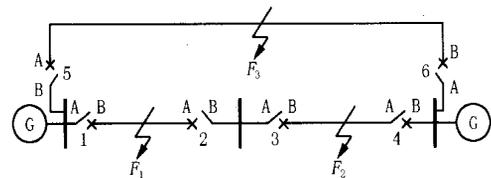


图 4 环形网络

Fig. 4 Annular network

若 F_1 点发生短路, 对于保护 1 来说, 在它的短路侧与其有直接电气联系的保护只有保护 2, 而保

护 1 短路功率方向与保护 2 的短路功率方向相反,因此保护 1 不被闭锁,此时流过保护 1 的短路电流大于其整定值,故保护 1 瞬时动作跳闸;同理保护 2 也瞬时动作跳闸;而对于保护 3、4、5、6 而言,在它们的短路侧相邻保护的短路功率方向均与它们自身的短路功率方向相同,因此它们被闭锁。

若在 F_2 点发生短路,保护 3 和保护 4 瞬时动作跳闸,保护 1、2、5、6 闭锁。若在 F_3 点发生短路,保护 5 和保护 6 瞬时动作跳闸,保护 1、2、3、4 闭锁。对这两种情形不再赘述。

4 基于短路功率方向和通信方法的自适应电流速断保护与现有电流速断保护的比较

电流速断保护的灵敏性是用保护范围来表示的。由本文的分析可知:传统的电流速断保护和现有的自适应电流速断都不能保护线路全长,而且它们的保护范围会随系统运行方式的减小而减小,甚至会出现保护范围为零的情况。而基于短路功率方向和通信方法的自适应电流速断保护的保护区不会随系统运行方式的改变而改变,不论在何种运行方式下,都能全线速动切除故障。显然,就保护范围而言,基于短路功率方向和通信方法的自适应电流速断保护大大优于传统的电流速断保护和现有的自适应电流速断保护。

传统的电流速断保护和现有的自适应电流速断保护的定值在短线路很多的系统中不能保证动作的选择性。对于基于短路功率方向和通信方法的自适应电流速断保护来说,在相邻线路出口处附近短路时,本保护可能起动,但由于本文给出的基于短路功率方向和通信方法的自适应电流速断保护原理是在短路功率方向和短路电流大小同时满足条件时才动作的,所以即使这时流过保护的短路电流大于其整定值,由于短路功率方向不满足动作条件,保护也能可靠不动作。当然为了保证保护的选择性,而借助于现代通信技术传递故障侧保护的短路功率方向,这就必须增加通信方面的投资,不过增加投资,换取保护选择性的提高、保护范围的扩大是很有意义的。

5 结论

1) 基于短路功率方向和通信方法的自适应电流速断保护在保护范围和选择性两个方面具有传统电流速断保护和现有的自适应电流速断保护无法比拟的优越性。

2) 基于短路功率方向和通信方法的自适应电流速断保护的保护区不会随系统运行方式的改变而改变,能保护线路全长。

3) 基于短路功率方向和通信方法的自适应电流速断保护具有优良的选择性。借助于通信方法正确传递短路功率方向信号是保护选择性的重要保证。

4) 基于短路功率方向和通信方法的自适应电流速断保护特别适用于 35 kV 及以下网络拓扑结构复杂、运行方式变化较大、短线路众多、传统电流保护难以保证良好选择性的配电网的保护。

参考文献:

- [1] 贺家李,宋从矩(HE Jia-li, SONG Cong-ju). 电力系统继电保护原理(第 3 版)(Principle of Power System Relay Protection, Third Edition) [M]. 北京:中国电力出版社(Beijing:China Electric Power Press), 1991.
- [2] 葛耀中(GE Yao-zhong). 对自适应电流速断保护的评价(Evaluation of Adaption Current Instantaneous Trip Protection) [J]. 电力自动化设备(Electric Power Automation Equipment), 2000,6(20):1-5.
- [3] 李莉,骆德昌(LI Li, LUO De-chang). 一种新型微机保护原理——选择性原理(A New Theory of Microprocessor-based Protection——The Principle of Selectivity) [J]. 继电器(Relay), 2002,30(12):66-68.

收稿日期: 2003-08-26; 修回日期: 2003-09-19

作者简介:

孙长文(1973-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统微机保护;

吕艳萍(1955-),女,副教授,从事电力系统继电保护的教學与研究;

骆德昌(1957-),男,讲师,从事电力系统继电保护的教學与研究。

Adaptive current instantaneous trip protection (ACITP) based on the orientation of short-circuit power and the way of communication

SUN Chang-wen, L ü Yan-ping, LUO de-chang

(School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

(下转第 39 页 continued on page 39)

参考文献:

- [1] 要焕年,曹梅月(YAO Huan-nian, CAO Mei-yue). 电力系统谐振接地(The Resonant Earth in Power System) [M]. 北京:中国电力出版社(Beijing: China Electric Power Press), 2000.
- [2] 肖白,束洪春,高峰(XIAO Bai, SHU Hong-chun, GAO Feng). 小接地电流系统单相接地故障选线方法综述(Survey of the Method of Fault Line Selection for Single-phase-to-earth Fault in Networks with Ungrounded Neutral) [J]. 继电器(Relay), 2001, 29(4): 16-20.
- [3] 李威,王建勋,冉启文,等(LI Wei, WANG Jian-xun, RAN Qi-wen, et al). 一种新的电力系统暂态波形检测方法(A Novel Measurement Method for Power System Transient Waveforms) [J]. 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 2002, 26(5): 45-48.
- [4] 杨福生(YANG Fu-sheng). 小波变换的工程分析与应用(Engineering Analysis of Wavelet Transform and Its Application) [M]. 北京:科学出版社(Beijing: Science Press), 2000.
- [5] 束洪春,肖白(SHU Hong-chun, XIAO Bai). 配电网单相电弧接地故障选线暂态分析法(A Transient-based Study of Fault Line Selection for Single-phase to Ground Faults on Distribution System) [J]. 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 2002, 26(21): 58-61.
- [6] 贾清泉,刘连光,杨以涵,等(JIA Qing-quan, LIU Lian-guang, YANG Yi-han, et al). 应用小波检测故障突特性实现配电网小电流故障选线保护(Abrupt Change Detection with Wavelet for Small Current Fault Relaying) [J]. 中国电机工程学报(Proceedings of the CSEE), 2001, 21(10): 78-82.

收稿日期: 2003-07-29; 修回日期: 2003-09-26

作者简介:

肖白(1973-),男,博士研究生,讲师,从事电力系统稳定性及继电保护方面的研究;

束洪春(1961-),男,博士后,教授,博士生导师,从事电力系统新型继电保护与故障测距、故障录波等方面的研究;

穆钢(1957-),男,博士,教授,博士生导师,从事电力系统稳定与控制及输电网网损与负荷预报等方面的研究。

Study of grounding fault protection in distribution system based on the theory of modular maxima

XIAO Bai^{1,2}, SHU Hong-chun³, MU Gang², LI Ping²

(1. North China Electric Power University, Baoding 071003, China; 2. Northeast China Institute of Electric Power Engineering, Jilin 132012, China; 3. Kunming University of Science and Technology, Kunming 650051, China)

Abstract: In this paper, the method to obtain the modular maxima of wavelet transform is employed to analyze the electrical components after the fault, respond the abrupt change of zero sequence current, and determine the fault line by comparing the change of the zero sequence currents on all lines polarities and magnitudes. With the using of scalar product, the criteria has good property of bearing error and can get higher precision of fault line selection. This method is suitable for various distribution systems with different neutral grounding modes. Moreover, it can be easily used on site without adjusting protective setting. EMTP simulations show that the method is effective and reliable.

Key words: distribution system; fault line selection; wavelet transform; singular detection

(上接第 13 页 continued from page 13)

Abstract: Conventional current instantaneous trip protection (CCITP) and developed adaptive current instantaneous trip protection (DACITP) cannot protect the whole range of the line and the protection ranges vary with the change of operational mode of power system. On analyzing protection range of the two types of relay protection, adaptive current instantaneous trip protection (ACITP), which can protect the whole range of the line is described. It can transfer orientation signals of short-circuit power in communication way to ensure protection favorable selectivity. Additionally a briefly comparison of performances is presented between ACITP with CCITP and DACITP.

Key words: current instantaneous trip protection (CITP); adaptation; orientation of short-circuit power; communication way; performance analysis