

基于综合序分量的输电线路接地距离继电器研究

邓妍, 郇能灵

(上海交通大学电子信息与电气工程学院, 上海 200240)

摘要: 提出一种用零序分量做动作量, 负序分量做制动量的综合序分量接地距离继电器。这种继电器以工频变化量原理为基础, 能够明确区分区内、区外故障。并且动作量和制动量都能够自适应于运行状况, 不受系统运行方式的影响, 因此有很高的保护灵敏度。新方法原理简单, 无需调整动作门槛, 容易实现。大量 ATP 仿真试验证明新方法具有较好的保护性能。

关键词: 零序分量; 负序分量; 接地距离保护

中图分类号: TM77; TM58 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)08-0017-03

0 引言

高压输电线路一般采用距离保护。在输电线路接地故障中, 单相接地故障的几率最多, 其次是两相短路接地故障, 两者合计约占输电线路故障总数的90%以上, 是继电保护研究的一个重要内容。基于故障分量的继电保护原理由于具有原理简单、实现方便、灵敏度高, 且不受系统振荡、正常运行时系统负荷以及非全相运行等因素影响的特性, 在继电保护领域中得到大量的应用。其中工频故障分量距离继电器具有明确的方向性, 在实用中取得了良好的效果, 但其耐受过渡电阻的能力一般。电抗分量继电器由于在原理上不受过渡电阻的影响, 只反应故障距离, 因而有很高的保护灵敏度, 但是它的抗干扰能力不强^[1~3]。此外, 双下偏零序极化继电器、基于零序分量的距离继电器等也表现出较好的保护性能, 值得深入研究^[4~7]。负序距离继电器在系统振荡时不会误动, 在振荡与故障同时存在时也能正确动作, 因此接地故障产生时的负序分量也是提高保护动作可靠性的重要依据^[8]。本文以工频距离继电器为理论依据, 综合零序分量和负序分量的特点, 提出以零序分量做动作量, 负序分量做制动量的综合序分量接地继电器。研究表明, 新方法具有一定的自适应能力, 无需调整制动量的动作门槛, 具有较好的保护灵敏度。

1 基本原理

对单相接地, 通过故障点的正序、负序、零序电

流为:

$$I_{f1} = I_{f2} = I_{f0} = \frac{1}{3} I_f = \frac{U_f}{3R_f + Z_0 + Z_1 + Z_2} \quad (1)$$

其中: U_f 为故障前故障点的电压, Z_1 、 Z_2 和 Z_0 分别为正序、负序、零序阻抗, R_f 为故障点接地过渡电阻, 对高压线路一般有 $Z_0 > Z_1 = Z_2$ 。根据序网的等值电路, 有:

$$\begin{cases} U_{f0} - U_{f1} = Z_1 I_{f1} \\ 0 - U_{f2} = Z_2 I_{f2} \\ 0 - U_{f0} = Z_0 I_{f0} \end{cases} \quad (2)$$

对两相短路接地有:

$$I_{f2} = - I_{f1} \frac{Z_0}{Z_0 + Z_2} \quad (3)$$

$$U_{f1} = U_{f2} = U_{f0} = \frac{I_{f1} Z_2 Z_0}{Z_0 + Z_2} \quad (4)$$

$$I_{f0} = - I_{f1} \frac{Z_2}{Z_0 + Z_2} \quad (5)$$

因此在故障点存在以下关系:

单相接地: $U_{f0} > U_{f2}$

两相接地: $U_{f0} = U_{f2}$

为了建立相应的故障分量接地距离保护, 必须调整 U_{f0} 与 U_{f2} 的关系。图 1 是不对称短路时零序和负序电压沿线路分配曲线示意图。由图 1 可见, 两相接地短路时, 在短路点 $U_{f0} = U_{f2}$, 并且沿着线路往母线方向逐渐减小, 零序电压在母线降为零, 负序电压则在终端为零。但在递减过程中, 零序电压始终小于负序电压。图 2 是区内故障时零序、负序电压在假设的整定点处的变化示意图。由图 2 可见如果采用 U_{f0} 与 U_{f2} 的关系比较式, 在区内故障时能够保证正确动作。对单相接地故障, 由于 $Z_0 > Z_1 = Z_2$, 在故障点有 $U_{f0} > U_{f2}$, 并且沿着线路的变化趋势与

基金项目: 许继电力科技基金资助项目; 上海高校优秀青年教师后备人选科技基金资助项目

两相接地故障相似。但在递减过程中,零序电压并不总是小于负序电压。如图 1 所示,从故障点 f 到电源 E 之间, U_{f0} 和 U_{f2} 存在一个交点,在这个区段内 $U_{f0} > U_{f2}$,将会造成部分区内故障拒动。为了解决这一矛盾,可以将 U_{f2} 适当扩大,即乘以 Z_0/Z_2 ,这样在故障点就有 $U_{f0} = U_{f2}$,并且沿着线路向终端变化的曲线特性与两相接地故障时相似。

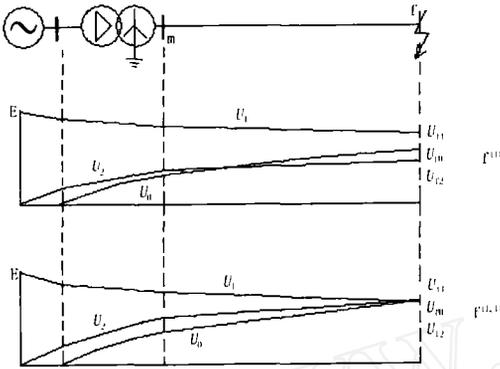


图 1 不对称短路时零序和负序电压沿线路分配曲线图

Fig 1 Curve of zero sequence and negative sequence voltage along the transmission line with ground fault

根据上述分析,给出基于综合序分量的距离继电器动作方程为:

对单相接地:

$$\begin{cases} |U_{op}| > |U_{res}| \\ U_{op} = U_{m0} - Z_0 I_{set} I_{m0} \\ U_{res} = (U_{m2} - Z_2 I_{set} I_{m2}) Z_0 / Z_2 \end{cases} \quad (6)$$

对两相接地:

$$\begin{cases} |U_{op}| > |U_{res}| \\ U_{op} = U_{m0} - Z_0 I_{set} I_{m0} \\ U_{res} = U_{m2} - Z_2 I_{set} I_{m2} \end{cases} \quad (7)$$

U_{m0} 、 I_{m0} 分别为保护安装处测量到的零序电流和零序电压, U_{m2} 、 I_{m2} 则为相应的负序分量, U_{res} 为保护整定点计算出的负序电压, $Z_0 I_{set}$ 、 $Z_2 I_{set}$ 为零序、负序整定阻抗, 等于保护安装处距保护范围末端的线

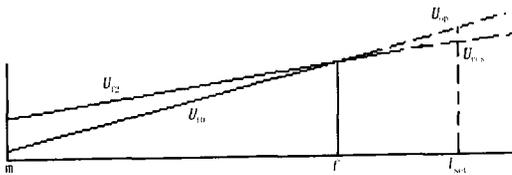


图 2 区内故障时零序、负序电压变化示意图

Fig 2 Diagram of zero sequence and negative sequence voltage with internal fault

路零序阻抗。由此可见,保护电量自适应于运行状况,是一个浮动值,能够保证保护判据取得较高的精度。

2 保护性能分析

如果假定线路全长阻抗均匀一致,并与两侧系统阻抗相角一致,图 2 是区内故障时零序电压和负序电压变化曲线。由图 2 可知,对于区内故障,由于电压源在保护范围内部,按照动作电压方程求出的电压量为零序电压分布曲线延长线上的虚假电压量,由于为线性关系,从而使动作方程满足。相反,对于正向区外以及反向故障,按照动作电压公式求出的保护范围边界的序电压关系呈现相反的关系(如图 3),不满足动作方程。图 3 中, f_0 、 f_1 、 f_2 和 f_3 分别对应于保护整定点、区内、正向区外以及反方向发生接地故障。

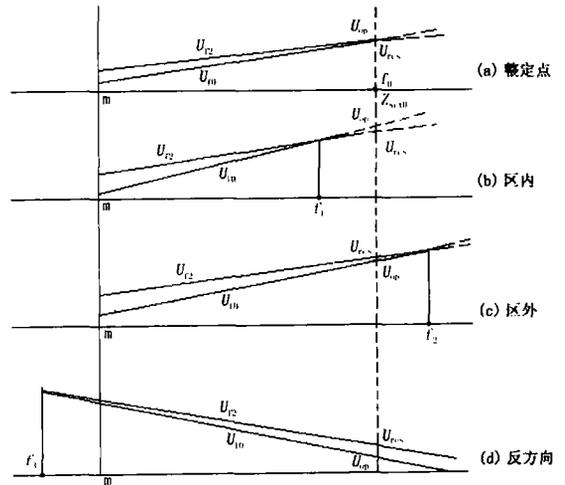


图 3 不同点故障时零序负序电压关系曲线

Fig 3 Relation of the zero sequence and negative sequence voltage with the fault in different locations

新判据具有以下优点:

- 1) 以工频变化量原理为基础,能够明确区分区内、区外故障,并具有较好的方向性;
- 2) 动作量和制动量都能够自适应于运行状况,是一个浮动值,因此不受系统运行方式的影响,有很高的保护灵敏度;
- 3) 保护判据不反映系统振荡,在扰动时不会满足上式,不会误动;
- 4) 因为两相短路及三相短路没有零序分量,所以也不会误动;
- 5) 无需调整动作门槛。

3 仿真验证

为检验上文所提出的综合序分量接地距离继电器的动作性能,采用 ATP 电力系统仿真软件建立如

图 4所示 500 kV 输电线路模型。仿真参数如下:线路全长 $l=180$ km,两端电源正序阻抗 $Z_{S1}=2.11+j1.07$,电源零序阻抗 $Z_{S0}=0.7+j5.6$ 。线路正序 $R_1=0.027$ /km, $L_1=0.86$ mH/km, $C_1=0.0123$ μ F/km,线路零序 $R_0=0.1948$ /km, $L_0=2.4$ mH/km, $C_0=0.0071$ μ F/km。

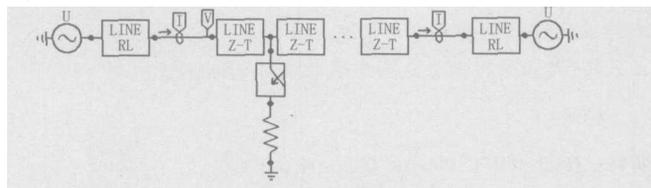


图 4 ATP仿真模型图

Fig 4 ATP simulation model

整定范围为线路全长的 80%处。每周期采样 20个点,在不同的系统运行方式下作了大量仿真验证。表 1为部分计算实例,其中 R 表示故障点接地电阻, α 表示两端电势夹角 ($m-n$)。

表 1 仿真结果

Tab 1 Results of simulation

故障类型	故障位置	故障状况	动作结果
单相接地	10%	$R=100$	$=30^\circ$ 动作
单相接地	10%	$R=800$	$=-30^\circ$ 动作
单相接地	50%	$R=800$	$=30^\circ$ 动作
单相接地	75%	$R=800$	$=30^\circ$ 动作
单相接地	80%	$R=100$	$=30^\circ$ 动作
单相接地	80%	$R=800$	$=-30^\circ$ 动作
单相接地	85%	$R=100$	$=30^\circ$ 不动作
单相接地	85%	$R=800$	$=-30^\circ$ 不动作
单相接地	反向	$R=100$	$=30^\circ$ 不动作
两相短路接地	10%	$R=800$	$=30^\circ$ 动作
两相短路接地	75%	$R=800$	$=30^\circ$ 动作
两相短路接地	80%	$R=100$	$=30^\circ$ 动作
两相短路接地	80%	$R=800$	$=-30^\circ$ 动作
两相短路接地	85%	$R=100$	$=30^\circ$ 不动作
两相短路接地	85%	$R=100$	$=-30^\circ$ 不动作
两相短路接地	反向	$R=100$	$=30^\circ$ 不动作

由仿真结果可以看出综合序分量继电器对于线路单相接地短路和两相接地短路动作性能很好,能正确区分区内故障和区外故障,并且保护无论处于受端还是送端均能正确动作,灵敏度较高。

4 结束语

本文提出了一种用零序分量做动作量,负序分量做制动量的综合序分量接地继电器。这种继电器以工频变化量原理为基础,能够明确区分区内、区外故障,具有较好的方向性;并且动作量和制动量都能够自适应于运行状况,是一个浮动值,因此不受系统

运行方式的影响,有很高的保护灵敏度;保护判据不反映系统振荡,在扰动时不会误动;在两相短路及三相短路由于没有零序分量,也不会误动。新方法原理简单,容易实现。大量的 ATP仿真结果验证了该接地距离继电器将具有良好的性能。

参考文献:

- [1] 朱声石. 接地距离继电器之研究 [J]. 电力系统自动化, 1977, 1(4): 28-54.
ZHU Sheng-shi Study of Ground Distance Relays[J]. Automation of Electric Power Systems, 1977, 1(4): 28-54
- [2] 隋风海,等. 论突变量距离继电器 [J]. 电力系统自动化, 1995, 19(11): 34-37.
SU I Feng-hai, et al On Fault Component Distance Relays[J]. Automation of Electric Power Systems, 1995, 19(11): 34-37.
- [3] 叶萍,陈德树. 一种能克服 D极化接地距离继电器区外稳态超越问题的新方案 [J]. 中国电机工程学报, 1992, 12(3): 16-21.
YE Ping, CHEN De-shu New Algorithm of D Polarized Ground Distance Relay [J]. Proceedings of the CSEE, 1992, 12(3): 16-21.
- [4] 范春菊,郁惟镛,等. 零序电抗继电器抗过渡电阻能力分析 [J]. 电力自动化设备, 1992, 21(10): 16-21.
FAN Chun-ju, YU Wei-yong, et al Ability Analysis of Zero-Sequence Reactance Relay Against Transient Resistance[J]. Electric Power Automation Equipment, 1992, 21(10): 16-21.
- [5] 吴俊勇,等. 新型接地距离继电器的研究 [J]. 华中理工大学学报, 1997, 25(8): 26-30.
WU Jun-yong, et al On Several New Types of Ground Distance Relays[J]. Journal of Huazhong University of Sci & Tech, 1997, 25(8): 26-30.
- [6] 何奔腾,黄武浩. 零序电抗继电器的研究 [J]. 中国电力, 1997, 30(3): 20-22.
HE Ben-teng, HUANG Wu-hao Study on Zero Sequence Reactance Relay[J]. Electric Power, 1997, 30(3): 20-22
- [7] 毛鹏,等. 基于零序分量的距离继电器 [J]. 电力系统自动化, 2003, 27(10): 60-66.
MAO Peng, et al Study of the Distance Relay Based on Zero Sequence Components [J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(10): 60-66
- [8] 朱声石. 论微机负序距离继电器 [J]. 电力自动化设备, 2002, 22(3): 1-4.
ZHU Sheng-shi On Microprocessor Based Negative Sequence Distance Relay[J]. Electric Power Automation Equipment, 2002, 22(3): 1-4.

(下转第 39页 continued on page 39)

- [5] Nara K, et al Implementation of Genetic Algorithm for Distribution Systems Loss Minimum Reconfiguration[J]. IEEE Trans on PWRD, 1992, 7(3): 1044-1051.
- [6] Song Y H, et al Distribution Network Reconfiguration for Loss Reduction Using Fuzzy Controlled Evolutionary Programming[J]. IEEE Proc—Gener, Transm, and Distrib, 1997, 144(4): 345-350.
- [7] 余贻鑫,段刚. 基于最短路算法和遗传算法的配电网网络重构[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(9): 44-49.
YU Yi-xin, DUAN Gang Shortest Path Algorithm and Genetic Algorithm Based Distribution System Reconfiguration[J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20(9): 44-49.
- [8] 刘健,勾新鹏,徐精求,等. 基于区域负荷的配电网超短期负荷预测[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(19): 34-37.
L U Jian, GOU Xin-peng, XU Jing-qiu, et al Short Term Load Forecasting of Distribution Networks Based on Partial Loads[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(19): 34-37.
- [9] 刘健,徐精求,党海锋. 考虑负荷变化的配电网动态优化[J]. 电力系统自动化, 2004, 32(13): 15-19.
L U Jian, XU Jing-qiu, DANG Hai-feng Distribution Networks Dynamic Optimization Considering Load Changes[J]. Relay, 2004, 32(13): 15-19.
- [10] IEEE Distribution Planning Working Group Report Radial Distribution Test Feeders [J]. IEEE Trans on PWRD, 1991, 6(3): 975-985.
- [11] 尹丽燕,于继来. 多时间段的配电网动态重构[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(7): 44-49.
Y N Li-yan, YU Ji-lai Dynamic Reconfiguration of Distribution Network with Multitime Periods[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(7): 44-49.

收稿日期: 2005-09-20; 修回日期: 2005-10-13

作者简介:

王智宇(1981-),男,硕士研究生,主要研究方向为配电网自动化;E-mail:wzy5118@sina.com

涂光瑜(1941-),男,教授,博士生导师,长期从事电力系统运行与控制的研究;

罗毅(1966-),男,副教授,主要从事 EMS/DMS、电力系统安全监控的研究。

Distribution network reconfiguration based on time subsection

WANG Zhi-yu, TU Guang-yu, LUO Yi, LI Chen

(College of Electrical & Electronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: The researches of distribution network reconfiguration algorithm which only aim at single-time-period may cause switch's excessive readjustment. In order to solve problems above, this paper presents an operate measure using time subsection. Extent of loads-change is used to detach time-period. Moreover, disadvantages which brought by changes of switch state is also considered to modify the time-period. Then the paper compares some kinds of algorithm and makes use of operation characters of distribution network to improve the genetic algorithm. Simulation result shows that this method can reduce line losses and operation expenses to fit for project use.

Key words: distribution network reconfiguration; time subsection; genetic algorithm

(上接第 19 页 continued from page 19)

收稿日期: 2005-10-11; 修回日期: 2005-10-23

作者简介:

邓妍(1980-),女,硕士研究生,主要研究方向为电力

系统继电保护及综合自动化;

邵能灵(1972-),男,博士,副教授,主要从事电力系统继电保护,电力系统安全稳定控制的研究工作。E-mail:nlai@sjtu.edu.cn

Study of the earth fault distance relay based on combined sequence components

DENG Yan, TA INeng-ling

(Department of Electrical Power Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: An earth fault distance relay based on the combined sequence components is presented. The new scheme uses zero sequence components as operation component and negative sequence components as restraint component to discriminate whether the fault is in the internal or external zone. As the sequence components are adaptive to the system operation conditions, it will obtain high sensitivity. Simulation results show the new distance relay has good performance in different conditions.

Key words: zero sequence component; negative sequence component; earth fault distance protection