

电网闪断对距离保护的影响

马 慧, 张开如, 高 芳, 梁 斌, 冯知海

(山东科技大学电气与自动化工程学院, 山东 青岛 266590)

摘要: 电力负荷对电压暂降和短时间中断事件(以下称为闪断)非常敏感, 对供电可靠性的需求越来越高。针对电网的闪断, 分析了出现该现象的原因。距离保护作为输电线路的主保护, 不可避免的受到闪断的影响。使用相位比较式的方向阻抗继电器搭建了基于 Matlab/Simulink 的距离保护模型, 验证了三段式距离保护的正确性。介绍了距离保护中各个元件的动作原理以及闪断对各元件的影响, 尤其是对启动元件。通过设置不同类型以及不同线路长度的故障, 仿真得到电网闪断对相间和接地距离保护的影响。

关键词: 闪断; 距离保护; 相位比较式; 方向阻抗继电器; 启动元件

Effect of power grid flash broken on distance protection

MA Hui, ZHANG Kairu, GAO Fang, LIANG Bin, FENG Zhihai

(College of Electrical Engineering and Automation, Shandong University of Science and Technology,
Qingdao 266590, China)

Abstract: Power loads are sensitive to voltage sags and short interruptions (the following is called flash broken). The demand for reliability of power supply is higher and higher. According to the flash broken of power grid, this paper analyzes the causes of this phenomenon. Distance protection as the main protection of transmission line, is inevitably affected by flash broken. The direction of the phase comparator mode impedance relay is used to build Matlab/Simulink distance protection model, and the correctness of the three-stage distance protection is verified. The operation principle of the individual elements and the effect of each component in the protection distance are described, especially for starting element. By setting different types and different lengths of line fault, the different effects of flash broken on distance protection is simulated.

Key words: flash broken; distance protection; phase comparative; direction impedance relay; starting organ

中图分类号: TM773 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2015)17-0081-06

0 引言

我国的供电系统都是以大机组、大电网、高电压为主要特征的集中式单一供电系统, 大电网中任何一点故障所产生的扰动都会对整个电网造成较大影响。局部事故极易扩大为大面积电网事故, 严重时可能引起大面积停电甚至是全网崩溃, 造成灾难性后果^[1]。而随着冲击性及非线性负载等在电网中的不断增加, 使得电网电能质量问题越来越严重^[2], 闪断是目前越来越突出的一个问题, 它是在电网正常运行过程中, 进线电压瞬间降低至额定电压的 10% 以下, 甚至为 0。根据美国电科院 2000 年电能质量检测分析收集的数据表明, 用户遭受电能质量事故 92% 是电压骤降和电压瞬时中断(持续时间小于 2 s)引起的^[3]。

2007 年, 欧洲“莱昂纳多电能质量工作组(LPQI)”发布的报告显示^[4], 接受调查的工业部门因电能质量造成的年损失高达 1 500 亿欧元。其中, 电压暂降(包括短时电压中断)造成的损失占到工业样本总损失的 60%^[5]。传统供电可靠性只以超过 1 min 或 5 min 的停电为依据, 我国现行《供电系统用户供电可靠性评价规程(暂行)》明确规定自动重合闸重合成功或备用电源自动投入成功, 不视为用户停电。单一以停电时间来衡量供电可靠性, 并没有体现电压暂降和电压闪断对用户及社会造成的危害, 没有反映现代电力系统条件下电力敏感负荷受其影响的严重性^[3]。继电保护是反应元件的不正常运行, 并动作于断路器跳闸或发出信号的装备, 闪断发生时继电保护与自动重合闸装置还来不及动作, 电网就

的三段式距离保护模块,当采用方向阻抗继电器时,其相位比较式动作条件为

$$270^\circ \geq \arg \frac{\dot{U}_K}{\dot{U}_K - \dot{U}'} \geq 90^\circ$$

式中: \dot{U}_K 为极化电压; \dot{U}' 为补偿电压; K 为故障点。

3.1 启动模块

距离保护的电压、电流取自三相电压电流测量模块,启动模块将负序电流与整定值比较来判别系统是否发生故障,故障发生时发出使能信号,控制三段式距离保护的投切。启动模块的内部结构如图2所示。

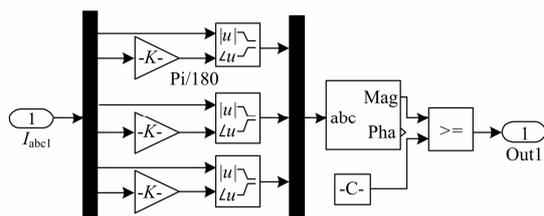


图2 启动模块内部结构

Fig. 2 Internal structure of starting model

3.2 距离保护模块

三相电压电流测量模块的电压、电流和启动环节的使能信号一起控制距离保护,通过设定不同的整定值和不同的延时来启动三段式距离保护,由于延时环节接到的信号应是 double 类型,而各段保护中的信号为 boolean 类型,因此添加了数据转化模块。三段保护中任一段发出故障信号,继电器都会动作于跳闸,因此选用或门来实现这种功能,三段式距离保护内部结构如图3所示,每一段距离保护中均含有相间短路距离保护和接地短路距离保护。将相间短路距离保护和接地短路距离保护分别封装为模块的形式,再经过相位比较,若满足 $90^\circ \sim 270^\circ$,则反应该短路类型的故障,各段距离保护的内部结构如图4所示。

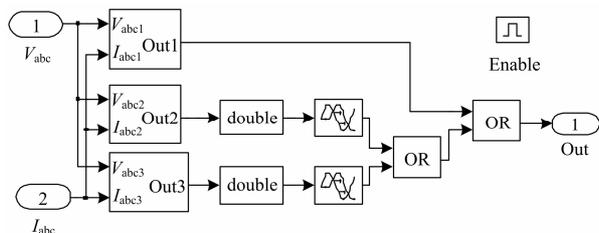


图3 三段式距离保护的内部结构

Fig. 3 Internal structure of three-stage distance protection

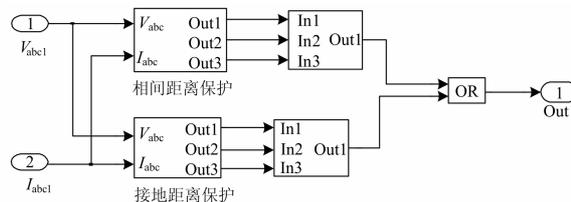


图4 各段距离保护内部结构

Fig. 4 Internal structure of each section distance protection

(1) 相间短路距离保护

故障点处非故障相电压幅值和相位与故障前的相同,两故障相电压与非故障相电压反向,幅值减少;两故障相电流幅值相等、相位相反,非故障相电流为零^[10],因此在相间短路的距离保护中使用“0°”继电器,其内部结构如图5所示, J1、J2、J3 分别为采用“0°”接线的方向阻抗继电器,该继电器的动作特性是以整定阻抗 Z_{set} 为直径而通过坐标原点的一个圆,并且自身带有方向性,具有良好的实际应用性^[5]。使用 $U_convert$ 来获取复数形式的三相电压和电流,其内部结构如图6(a)所示, $I_convert$ 的结构与 $U_convert$ 相同^[11]。J1、J2、J3 的内部结构如图6(b)所示。

(2) 接地短路距离保护

接地短路距离继电器的接线方式与相间短路大致相同,其内部结构如图7(a),该接线可以准确地反应单相接地故障, J4、J5、J6 分别为带有零序电流补偿方式的方向阻抗继电器, K 为零序补偿系数,其中 $K = \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1}$, Z_0 为零序阻抗, Z_1 为正序阻抗,其内部接线方式如图7(b)。

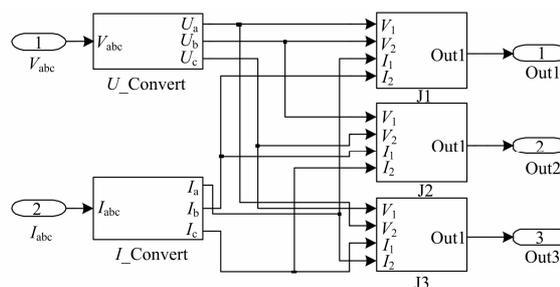
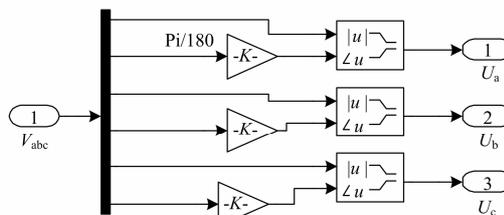
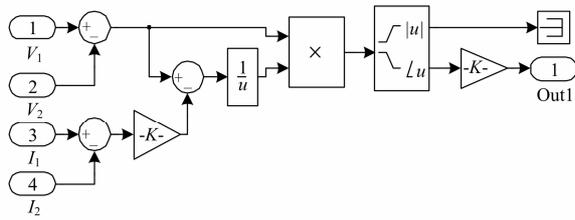


图5 相间短路距离保护内部结构

Fig. 5 Internal structure of phase fault distance protection

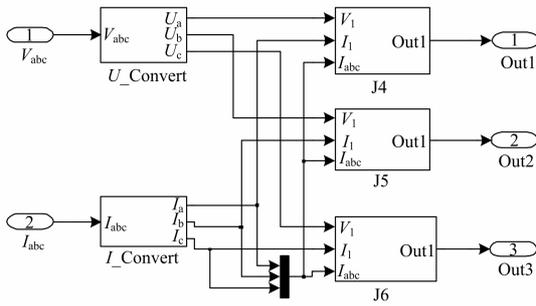


(a) $U_convert$ 内部结构

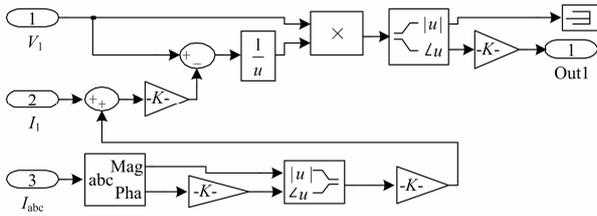


(b) “0°” 接线方式方向阻抗继电器内部结构

图 6 $U_convert$ 及 “0°” 接线方式方向阻抗继电器内部结构
Fig. 6 Internal structure of $U_convert$ and directional impedance relay of connection with 0 degree



(a) 接地短路距离保护内部结构



(b) 零序电流补偿方式的方向阻抗继电器内部结构

图 7 接地短路距离保护、零序电流补偿方式的方向阻抗继电器内部结构

Fig. 7 Internal structure of grounding short circuit distance protection and directional impedance relay with zero sequence current compensation model

4 仿真结果

仿真时间为 0~1 s, 故障时间为 0.2~0.5 s, 发生 AB 相短路故障, 故障仿真属于暂态, 采用 ode23t 算法, 闪断发生的时间为 0.03~0.04 s。II 段和 III 段的距离保护分别延时 0.05 s 和 0.1 s, 采用方向阻抗继电器时, 过渡电阻对其影响较大, 此处设过渡电阻为 0^[12]。

4.1 未发生闪断

启动元件仅反应故障的发生, 设置故障距离为 230 m, 两侧线路的长度之和始终保持 300 m, 启动元件的动作曲线如图 8 所示(op 代表动作情况, 无单位, 1 为动作, 0 为不动作, 以下图同)。距离保护的 I 段能保护线路的 85%, 此时应 I 段进行动作,

I 段相间距离保护的 A、B、C 相的相位值由图 9 可知, 分别为 178.5°、-26.525°、28.55°(phase 为相位值, 单位为°, 以下图同), 即 A 相断路器断开, 通过仿真可知, I 段的接地距离保护的 A、B、C 相的相位值分别为 -38°、18°、67°, 可知三个继电器均不动作。距离保护 I、II 段的动作曲线如图 10(a)、图 10(b)所示。

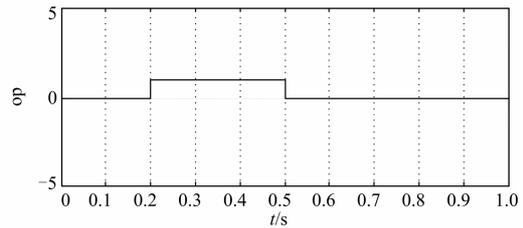


图 8 启动元件动作曲线
Fig. 8 Action curve of starting organ

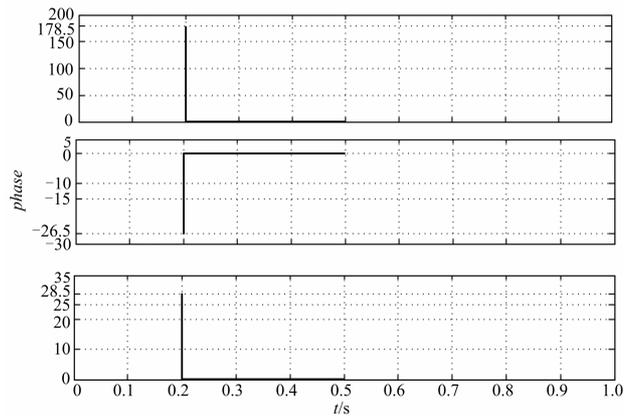
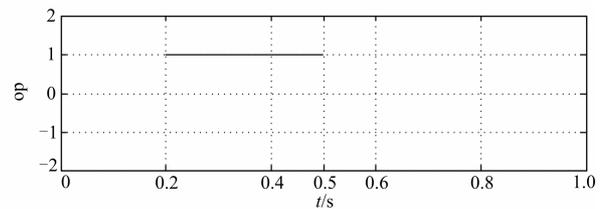
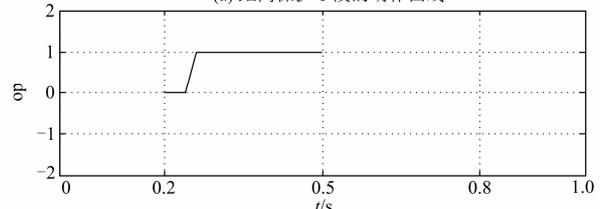


图 9 相间短路时三个方向阻抗继电器的相位曲线
Fig. 9 Phase graph of three directional impedance relays in phase fault



(a) 距离保护 I 段的动作曲线



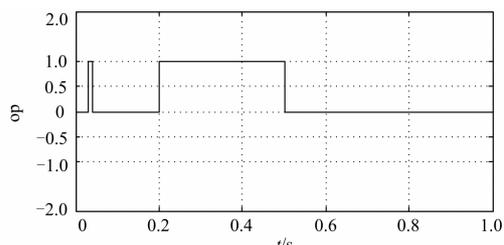
(b) 距离保护 II 段的动作曲线

图 10 距离保护 I、II 段的动作曲线

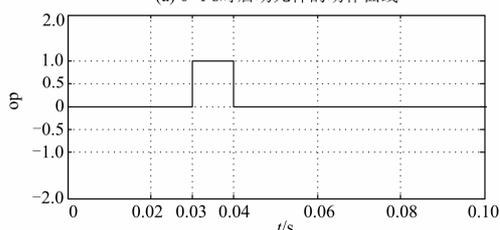
Fig. 10 Operating graph of distance protection in I, II

4.2 闪断发生

在 0.03~0.04 s 出现闪断时, 启动元件的动作曲线如图 11(a), 将刻度锁定为图 11(b)的 0~0.1 s, 可清晰地看到闪断时启动元件发生了误动作。发生闪断时相间和接地距离保护的相位曲线如图 12(a)、



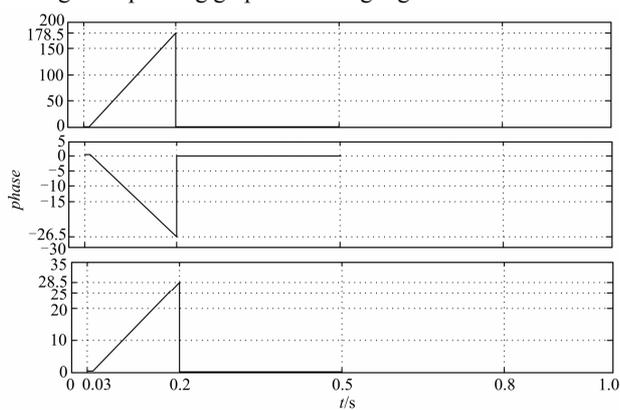
(a) 0~1 s时启动元件的动作曲线



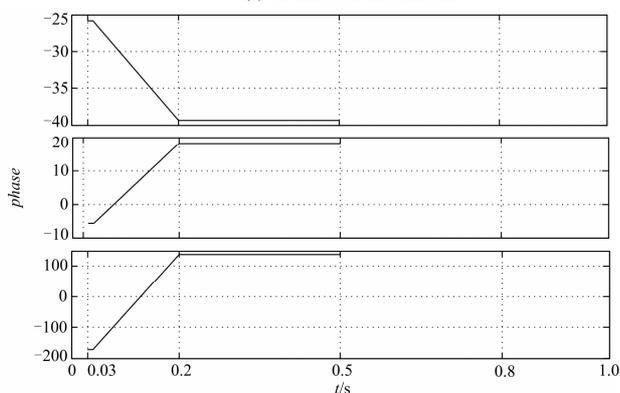
(b) 0~0.1 s时启动元件的动作曲线

图 11 闪断发生时启动元件的动作曲线

Fig. 11 Operating graph of starting organ in flash broken



(a) 相间距离保护的相位曲线



(b) 接地距离保护的相位曲线

图 12 闪断时相间和接地距离保护的相位曲线

Fig. 12 Phase graph of distance protection for phase fault and grounding fault in flash broken

图 12(b)所示, 与未发生闪断时的图 9 相比, 能清晰地看到不同, 在相间距离保护中, 可以看到相位有一个上升的过程, 当达到 90° 时, 就会使得继电保护装置发生误动作, 很显然, 在 0.2 s 之前相位就超过了 90° ; 在接地距离保护中, 可以看到各相相位均有不同的变化, 尤其是对 C 相来说, 已经超过了 90° , 即会发生误动作。

5 结论

在电力网络系统容量不断增长, 网络结构日趋复杂的发展过程中, 闪断发生的概率也在不断攀升, 据国外调查: 供电质量问题中最引起人们重视的除了停电以外, 电压暂降以及闪断已成为主要的质量投诉原因, 甚至占到相关投诉比重的 80% 以上^[13], 因此对其研究也应更加深入, 它会降低电力网络的稳定性、可靠性以及继电保护装置的准确性。

需要指出的是, 电压闪断对供电线路保护以及供电可靠性等方面的影响已经成为工业界关注的重要研究课题。本文做了一些理论上关于距离保护的初步探讨, 仿真结果验证了电网闪断对距离保护的影响。在结合电力系统和电力市场的实际运营时其考核的可操作性等方面还有待更进一步深入的研究。

参考文献

- [1] 周卫, 张尧, 夏成军, 等. 分布式发电对配电网继电保护的影响[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(3): 1-5.
ZHOU Wei, ZHANG Yao, XIA Chengjun, et al. Effect of distributed generation on relay protection of distributed system[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(3): 1-5.
- [2] 彭卉, 邹舒, 付永生, 等. 冲击负荷接入电网的电能质量分析与治理方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(1): 54-61.
PENG Hui, ZOU Shu, FU Yongsheng, et al. Research of the power quality problem and treatment scheme for impact loads connected into Chongqing power system[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(1): 54-61.
- [3] 陶顺, 肖湘宁, 刘晓娟. 电压暂降对配电系统可靠性影响及其评估指标的研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(21): 63-69.
TAO Shun, XIAO Xiangning, LIU Xiaojuan. Study on distribution reliability considering voltage sags and

- acceptable indices[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(21): 63-69.
- [4] TARGOSZ R, MANSON J. European LPQI PQ survey [C] // Vienna: CIRED 19th International Conference on Electricity Distribution, 2007.
- [5] 甄晓晨, 陶顺, 肖湘宁, 等. 电压暂降的工厂级经济损失评估模型研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(12): 104-111.
ZHEN Xiaochen, TAO Shun, XIAO Xiangning, et al. An evaluation model of plant-level economic loss due to voltage dips[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(12): 104-111.
- [6] 陈亚, 刘晓芹. 浅谈电压闪变[J]. 科技资讯, 2011(29): 154.
CHEN Ya, LIU Xiaoqin. Introduction to voltage flicker[J]. Science & Technology Information, 2011(29): 154.
- [7] 张叶林. 工厂 10 kV 专线电压闪断原因[J]. 电工之友, 2013(8): 25.
ZHANG Yelin. The flash reason of line voltage 10 kV factory[J]. Nongcun Diangong, 2013(8): 25.
- [8] 贺家李, 李永丽, 董新洲, 等. 电力系统继电保护原理 [M]. 4 版. 北京: 中国电力出版社, 2012.
- [9] 李斌. 浅谈供电线路的距离保护[J]. 科技资讯, 2007 (16): 62.
LI Bin. Introduction to power supply line distance protection[J]. Science & Technology Information, 2007(16): 62.
- [10] 都小利, 戚琳, 戚矛, 等. 线路相间距离保护调试的简易模拟方法[J]. 电工技术, 2014(3): 17-18.
DU Xiaoli, QI Lin, QI Mao, et al. Phase spacing protection line debugging simple simulation method[J]. Electric Engineering, 2014(3): 17-18.
- [11] 于群, 曹娜. Matlab/Simulink 电力系统建模与仿真[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
- [12] 林富洪, 曾惠敏. 一种耐高阻和抗负荷电流影响线路单相接地距离保护[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(23): 132-138.
LIN Fuhong, ZENG Huimin. A single-phase ground distance protection for transmission line with strong ability of enduring fault resistance and load current[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(23): 132-138.
- [13] PRUDENZI A, QUAIA S, ZANINELLI D. Surveying PQ aspects in Italian industrial customers[C] // Transmission and Distribution conference and Exposition, Dallas, USA, IEEE PES, 2003, 1: 211-216.

收稿日期: 2015-01-21; 修回日期: 2015-04-20

作者简介:

马 慧(1990-), 女, 在读研究生, 专业为电力系统及其自动化, 研究方向为电力系统继电保护; E-mail: ma_hui1990jj@163.com

张开如(1957-), 男, 教授, 硕士研究生导师, 主要研究方向为电力电子与电力传动、电力系统及其自动化、检测技术与自动化装置。

(编辑 魏小丽)