

一种适用于中低压短线路的光纤纵差保护方案

贺敏¹, 陆于平¹, 宋斌², 相咸政²

(1. 东南大学电气工程系, 江苏 南京 210096; 2. 电力自动化研究院深圳所, 江苏 南京 210003)

摘要: 分析了中低压短线路纵差保护的现状, 对电流综合量继电器与普通电流继电器在各种短路情况下的灵敏度比较, 复式比率差动继电器与常规比率差动继电器在各种短路电流情况下的动作性能比较等进行了研究。提出了一种适用于中低压短线路的复式比率电流综合量差动保护原理方案。此方案可提高保护的灵敏度, 同时为光纤纵差保护采用异步通信方式提供可能, 达到降低保护装置成本的目的。

关键词: 短线路; 异步通信; 纵差保护; 光纤

中图分类号: TM773 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2003)09-0031-04

1 引言

随着电力事业的飞速发展, 尤其是我国各大城市陆续开工的城市地铁项目, 电力系统中出现了越来越多的中低压短线路。这些短线路若采用传统的电流保护或距离保护, 在整定值与动作时间上都难以配合。因此采用纵联差动保护就成为一种必然选择^[1]。电流纵差保护由于原理简单、运行可靠、动作快速准确且不需要与相邻线路的保护进行配合等诸多优点, 使其在线路保护中得到广泛应用。对于距离较短的输电线路可以采用短引线差动保护^[2], 但短引线差动保护二次回路由于引线较长, TA 的二次负载较大, 从而引起线路两侧的 TA 特性不匹配, 并且 TA 的二次回路接线也较复杂, 这些都将直接影响差动保护的动作特性和安全性。当然也可采用以导引线为通道的纵联差动保护, 但导引线通道易受外界干扰, 抗干扰能力差, 易受线路故障影响, 影响差动保护的安全可靠运行。目前, 光纤通道技术已逐渐成熟, 由于光纤传输不受电磁干扰的影响, 通信误码率低, 工作稳定, 在安全性和可靠性方面与导引线通道相比有显著优势。同时, 光纤通道频带宽, 容量大, 可以缓解电力系统的通道拥挤问题。因此, 利用光纤传输的微机线路纵联差动保护得到了越来越广泛的研究和应用^[3]。

本文分析了电流综合量继电器与普通电流继电器在各种短路情况下的灵敏度比较, 复式比率差动继电器与常规比率差动继电器在各种短路电流情况下的动作性能比较, 采用复式比率电流综合量差动保护原理、方案的优点以及光纤纵差保护采用异步通信方式的可能性, 并给出了具体的保护方案与逻辑框图。

2 光纤纵差保护的基本原理

纵联差动保护, 就是利用某种通信通道将输电线路各端的保护装置纵向连结起来, 将输电线各端的电气量传送到对端进行比较, 以判断是本输电线路内部故障还是外部故障, 从而决定是否动作切除本线路。电流纵联差动保护就是将被保护线路各端电流的大小和相位送至对端并进行比较, 从而判定本线路范围内是否发生短路故障的保护方法^[4]。由于这种保护无须与相邻线路的保护在动作参数上进行配合, 因而可以实现全线速动。目前已经广泛应用的光纤纵差保护通过高速数据通信接口, 实现线路两侧数据同步采样。同步采样的原理就是将线路两侧装置中的一侧作为同步端, 另一侧作为参考端。以同步方式交换两侧信息, 参考端采样间隔固定, 并在每一采样间隔中固定向对侧发送一帧信息。同步端随时调整采样间隔, 如果满足同步条件, 就向对侧传输三相电流采样值; 否则, 启动同步过程, 直到满足同步条件为止。因为同步通信方式所要求的外围辅助电路较为复杂且装置的整体造价较高, 所以不太适用于中低压短线路的光纤纵差保护。因此采用异步通信方式就成为一种可能。但采用异步通信方式的通信波特率较低(一般为 9600 bps), 为提高纵联差动保护可以利用的数据采样密度(一般为每个周波 12 点采样), 就必须压缩线路两侧需要交换的数据量。为此可以采用电流综合量的纵联差动保护, 这样需要传输的数据量就很小, 而且使用电流综合量, 还可以提高故障时电流继电器的灵敏度。

3 电流综合量继电器与普通电流继电器的灵敏度分析

电流综合量的基本原理是: 电流综合量继电器

在故障时,采用的电流量为 $I_N = I_1 + 6I_2$ (I_1 为正序电流、 I_2 为负序电流)。而普通电流继电器在故障时,采用的电流量为 $I = I_g$ (I_g 为故障电流)。下面给出电流综合量继电器与普通电流继电器在各种短路情况下的灵敏度分析。

3.1 对于三相短路故障

故障时以 A 相作为参考,则有 $I_A = I_B = \sqrt{2} I_C$, 式中 $\sqrt{2} = e^{j120^\circ}$, $\sqrt{2} = e^{j240^\circ}$ 。对于普通的电流继电器: $I = I_g = I_A = I_B = \sqrt{2} I_C$ 。对于电流综合量继电器则有: $I_N = I_1 + 6I_2$ 。

根据对称分量法 $\begin{cases} I_1 = (I_A + I_B + \sqrt{2} I_C) / 3 \\ I_2 = (I_A + \sqrt{2} I_B + I_C) / 3, \text{可} \\ I_0 = (I_A + I_B + I_C) / 3 \end{cases}$

以得到 $I_1 = I_A$, $I_2 = I_0 = 0$; $I_N = I_1 + 6I_2 = I_A$ 。因此可以看出在三相故障时,使用电流综合量的继电器和普通电流继电器具有同等的灵敏度。

3.2 对于 BC 两相短路故障

由于故障电流往往远大于负荷电流,故可以忽略故障时的负荷电流。以 A 相作为参考,则有 $I_B = -I_C$, $I_A = 0$ 。对于普通的电流继电器: $I = I_g = I_B = -I_C$ 。对于电流综合量继电器: $I_1 = -I_2 = \frac{1}{3} (1 - \sqrt{3}) I_B$, $I_N = I_1 + 6I_2 = 2.887 e^{-j90^\circ} I_B$ 。因此比较普通的电流继电器,使用电流综合量继电器灵敏度可提高约 1.887 倍。

3.3 对于 CA 两相短路故障

由于故障电流往往远大于负荷电流,故而忽略故障时的负荷电流,以 A 相作为参考,则有 $I_C = -I_A$, $I_B = 0$ 。对于普通的电流继电器: $I = I_g = I_C = -I_A$ 。对于电流综合量继电器: $I_1 = (1 + \sqrt{3}) I_2$, $I_N = I_1 + 6I_2 = 3.785 e^{j157.589^\circ} I_C$ 。因此比较普通的电流继电器,使用电流综合量继电器灵敏度可提高约 2.785 倍。

3.4 对于 AB 两相短路故障

由于故障电流往往远大于负荷电流,故而忽略故障时的负荷电流,以 A 相作为参考,则有 $I_A = -I_B$, $I_C = 0$ 。对于普通的电流继电器: $I = I_g = I_A = -I_B$ 。对于电流综合量继电器: $I_1 = \frac{1}{1 + \sqrt{3}} I_2$, $I_N = I_1 + 6I_2 = I_1 (7 + 6\sqrt{3}) = 3.785 e^{j22.411^\circ} I_A$ 。因此比较普通的电流继电器,使用电流综合量继电器灵敏度可提高约 2.785 倍。

比较不同的两相短路故障,可以看出,不同相别

的两相故障,电流综合量的灵敏度提高倍数也不一样,其原因是在求解序分量的时候都是以 A 相作为参考,不同相别故障,所得到的序分量的相位不一样,造成了电流综合量的幅值和相位也随着故障类型的变化而变化,但这只是灵敏度倍数的改变。

对于中低压小电流接地系统的短线路保护,电流继电器可能采用 A、C 两相星形接线方式,因此对于在 AB 和 BC 相间短路时,普通的电流继电器只能有一个电流继电器动作。而对于电流综合量继电器而言却无影响,由于小电流接地系统中电流互感器一般仅装在 A、C 两相,小电流接地系统中的正、负序量的算法,可以简述如下:

在仅有正序情况下, $I_C + I_A e^{-j60^\circ} = 0$ 。由图 1 可以得出, $I_2 = (I_C + I_A e^{-j60^\circ}) / \sqrt{3}$ 。

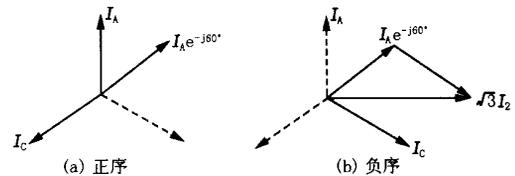


图 1 小电流接地系统的正负序分量算法的向量图

Fig. 1 The vector of positive and negative sequence component arithmetic

总体来说,对于两相短路故障,使用电流综合量继电器比普通电流继电器灵敏度提高较多。

3.5 对于单相接地短路故障

对于中性点不接地系统或小电流接地系统,单相接地故障电流因不构成回路,不会产生短路电流,仅为电容电流,差动保护不动作。但是对于大电流接地系统的单相接地故障,采用上述同样的分析方法,可以得出对于 A 相接地故障、B 相接地故障和 C 相接地故障时,电流综合量继电器的灵敏度分别提高到 2.333 倍、1.856 倍和 1.856 倍。不同相别的单相接地故障,电流综合量的灵敏度提高倍数也不一样,其原因仍然是因为在求解序分量的时候都是以 A 相作为参考,不同相别故障,所得到的序分量的相位不一样,造成了电流综合量的幅值和相位也随着故障类型的变化而变化,但这只是灵敏度倍数的改变。总的来说,对于单相接地故障,使用电流综合量继电器比普通电流继电器灵敏度提高较多。

综上所述,在单相接地短路(仅对大电流接地系统)和两相短路故障中,使用电流综合量可以大大提高电流继电器的灵敏度。对于三相故障,灵敏度没有提高。在电力系统中,绝大部分的线路故障都是单相(仅对大电流接地系统)和两相故障,约占所有

故障的 90% 以上。因此,使用电流综合量可以较大地提高电流继电器的灵敏度。

4 复式比率差动继电器与常规比率差动继电器的动作特性分析

对于短线路光纤纵差保护,复式比率差动继电器的动作电流和制动电流的表达式可表示为:

$$I_d = |I_m + I_n|, I_r = |I_m + I_n| - |I_m| - |I_n|$$

。(其中 I_m 、 I_n 分别为线路两侧的电流)

常规比率差动继电器的动作电流和制动电流的表达式可表示为:

$$I_d = |I_m + I_n|, I_r = \frac{1}{2} |I_m - I_n|$$

为了分析方便,将常规比率差动继电器的制动电流中的系数 0.5 除去,这个系数可以转换到差动制动系数 k 中去,这样常规比率差动继电器的制动电流的表达式变为:

$$I_r = |I_m - I_n|$$

以下按照短路电流中的各种情况分析两种比率差动继电器的动作性能差异,其中复式比率差动继电器的制动系数取为 2 (一般采用的整定值),常规比率差动继电器的制动系数取为 0.5 (一般采用的整定值)。

4.1 只有工频分量的情况

线路两侧电流相角从 $0^\circ \sim 360^\circ$ 展开时,其表达式为: $I_m = \sin(100t)$, $I_n = -\sin(100t + \alpha)$ 。其中 α 从 $0^\circ \sim 360^\circ$ 变化。这时,运用仿真程序仿真动作电流和制动电流随着角度 α 的变化曲线如图 2 所示。

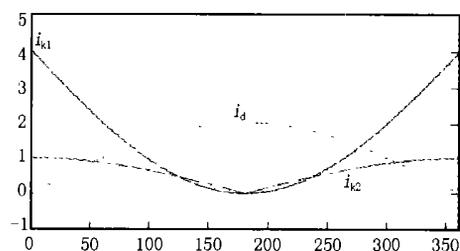


图 2 只有工频分量情况时动作电流与制动电流随角的变化曲线

Fig. 2 The variational curve of differential current and restraint current under the different phase angle of power frequency component

其中 i_{k2} 曲线为常规比率差动继电器的制动电流, i_{k1} 曲线为复式比率差动继电器的制动电流, i_d 曲线为动作电流,横坐标为角度,下面的图形标识注

释相同。

结论:通过图示分析,在区内故障时,若线路两侧电流为 $-50^\circ \sim +50^\circ$ 时,复式比率差动继电器的制动电流量小于常规比率差动继电器的制动量,即复式比率差动继电器的灵敏度较高一些。在其它相位角度下,常规比率差动继电器的制动量小于复式比率差动继电器的制动电流量,即常规比率差动继电器的灵敏度较高一些。

4.2 存在吸出电流的情况

设存在 0.5 倍短路电流的负荷电流, $I_m = \sin(100t) + 0.5\sin(100t)$, $I_n = -\sin(100t + \alpha) - 0.5\sin(100t)$ 。动作电流和制动电流随着角度的变化曲线如图 3 所示。

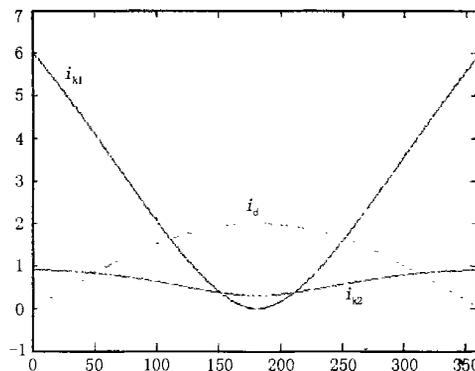


图 3 有吸出电流情况时动作电流与制动电流随角的变化曲线

Fig. 3 The variational curve of differential current and restraint current with angle under the drop-out current

结论:通过图示分析,在区内故障存在吸出电流的情况时,若线路两侧电流为 $-30^\circ \sim +30^\circ$ 左右时,复式比率差动继电器的制动电流量小于常规比率差动继电器的制动量,即复式比率差动继电器的灵敏度较高一些。在其它相位角度下,常规比率差动继电器的制动量小于复式比率差动继电器的制动电流量,即常规比率差动继电器的灵敏度较高一些。

4.3 存在衰减的直流分量的情况

设 $I_m = \sin(100t) + 0.5e^{-t/T}$, $I_n = -\sin(100t + \alpha) + 0.5e^{-t/T}$, $T = 200$ ms。动作电流和制动电流随着角度的变化曲线如图 4 所示。

结论:通过图示分析,在区内故障有衰减直流分量的情况时,若两侧电流为 $-30^\circ \sim +30^\circ$ 左右时,复式比率差动继电器的制动电流量略微小于常规比率差动继电器的制动量,即复式比率差动继电器的灵敏度略微高一些。在其它相位角度下,常规比率差

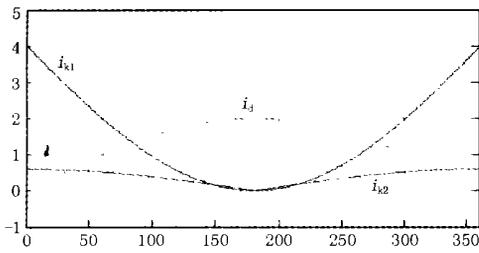


图4 有衰减直流分量情况时动作电流与制动电流随角的变化曲线

Fig.4 The variational curve of differential current and restraint current with phase angle under the damping DC component

动继电器的制动量小于复式比率差动继电器的制动电流量,即常规比率差动继电器的灵敏度高一些。

而存在衰减的高频分量的情况和存在非整次谐波的情况的分析也与上述的分析结论相类似。综合上述几种情况的分析,考虑到一般线路发生区内故障时,线路两侧电流相位夹角一般较小,因此运用复式比率差动继电器应该较常规比率差动继电器的灵敏度要高一些。

5 中低压短线路光纤纵差保护方案

根据上述电流综合量继电器与普通电流继电器的灵敏度分析,以及复式比率差动继电器与常规比率差动继电器的动作特性分析,考虑到中低压短线路光纤纵差保护为降低成本,其通信方式可采用异步通信方式,利用单片机的异步串口,采用较低的传输波特率,通过光纤通道将线路一侧的电流综合量传输至线路另一侧的保护装置。中低压短线路光纤纵差保护采用复式比率电流综合量差动保护原理方案,这样可以压缩两侧需要交换的数据量,使得需要传输的数据量减少,实现用两侧电流综合量取代传统的分相电流差动。在不降低安全性与可靠性的前提下,可以提高故障时差动电流继电器的灵敏度,同时达到降低保护装置成本的目的。复式比率电流综合量差动保护原理的动作方程如下:

$$|I_n + I_m| - K |I_m + I_n| - |I_m| - |I_n|$$

式中: I_m 为本侧电流的综合量, I_n 为对侧电流的综合量, K 为制动系数。其中:

$$I_m = I_{m1} + 6 I_{m2}, \quad I_n = I_{n1} + 6 I_{n2}$$

线路一侧的光纤纵差保护原理方案的简单逻辑框图见图5。

6 结语

随着电力系统的发展和对城市电网的优化和改

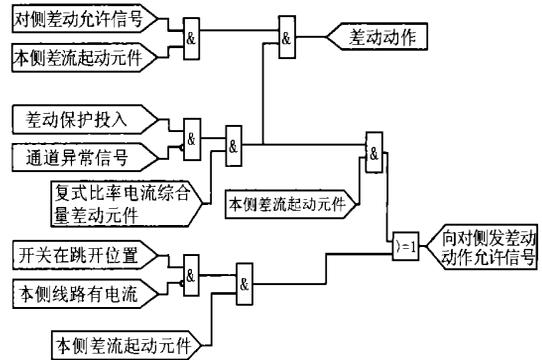


图5 线路一侧光纤纵差保护逻辑框图

Fig.5 The logic makeup of optical fiber differential protection

造工程的进行,尤其是城市地铁项目的大量开工建设,几公里及十几公里的中低压短线路和短线路群的出现,选择光纤纵差保护成为一种必然。本文提出了一种适用于中低压短线路的复式比率电流综合量差动保护原理的光纤纵差保护方案,分析比较了电流综合量电流继电器与普通电流继电器在各种短路情况下的灵敏度。采用电流综合量电流继电器不仅可以提高灵敏度,而且可以减少光纤纵差保护两侧需要交换的数据量,可实现用两侧电流综合量取代传统的分相电流差动。从而使采用异步通信方式的光纤纵差保护成为可能,在不降低可靠性与安全性的前提下,达到降低中低压短线路光纤纵差保护装置成本的目的。本文还分析了复式比率差动继电器与常规比率差动继电器在各种短路电流情况下的动作性能。在一般线路发生区内故障时,考虑到线路两侧电流相位夹角一般较小,运用复式比率差动继电器应该较常规比率差动继电器的灵敏度要高一些。文中给出了中低压短线路光纤纵差保护原理方案与逻辑框图。

参考文献:

- [1] 伍叶凯,郁惟镛,员保记,等. 微机短线路光纤纵差保护装置的研究[J]. 继电器,1996,24(2):9-16.
- [2] 李岩,尹项根,马天皓,等. T接短线路微机纵差保护原理研究[J]. 电力自动化设备,1999,19(2):21-23.
- [3] 许建德,陆以群. 新型数字电流差动保护装置中的数据采样同步和通信方式[J]. 电力系统自动化,1993,17(4):23-26.
- [4] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 北京,中国电力出版社,1995.

收稿日期: 2003-03-18; 修回日期: 2003-06-18

(下转第 39 页)

电质量的要求,适用于220 kV或110 kV主变低压侧为双分支接线的曲折变零序保护。但目前制造厂尚无此相应系列产品,对于微机系列保护,用软件实现上述逻辑并不困难,建议厂家积极开发这一产品以满足市场需求。

此外还需说明,以上分析仅基于金属性接地故障,在制造及运行中应考虑过渡电阻等因素对零序电流方向的影响。另外,电流互感器断线可能使零序电流方向误动,因此尚需考虑电流互感器断线闭锁措施。

4 结论

城市电网10 kV低阻接地系统的曲折变零序电流保护方案归纳如下:

(1) 接于曲折变中性线电流互感器的零序过电流保护方案,接线简单,适用于主变低压侧不带分支(即单分支)接线的曲折变零序保护。

(2) 为了避免10 kV系统单相接地时扩大故障停电范围,提高对用户供电的可靠性,110 kV变电所中当主变低压侧采用双分支接线时,推荐采用零序电流方向保护作为曲折变零序保护方案。

(3) 220 kV 变电所的曲折变也推荐采用零序

电流方向保护作为10 kV系统接地故障保护,以缩小接地故障停电范围,保证供电可靠性。

(4) 本文讨论的220 kV和110 kV主变低压侧为双分支接线的曲折变零序电流方向保护逻辑完全相同,其中零序电流采自曲折变中性线电流互感器,零序方向则由流过各分支电流互感器零序电流接线的电流和相应母线段的零序电压构成,方向指向各自10 kV母线。

(5) 建议厂家积极开发适合城市电网10 kV低阻接地系统的曲折变零序保护产品,以满足市场对保护选择性提出的要求。

参考文献:

- [1] 李润先. 中压电网系统接地实用技术[M]. 北京:中国电力出版社,2002.
- [2] 范迎青,高文逸. 6~10 kV 电网中性点经中电阻接地的单相接地保护[J]. 电力自动化设备,2000,20(1):12-14.

收稿日期: 2002-12-19

作者简介:

徐绍麟(1939-),男,教授级高工,从事发电厂、变电所电气二次接线设计工作。

Discussion on protection scheme of earthing transformer in city's 10 kV power network utilizing low earthing resistance mode

XU Shao-lin

(Central Southern China Electric Power Design Institute, Wuhan 430071, China)

Abstract: For suppressing the over-voltage caused by a single-phase to ground fault, the low earthing resistance mode utilizing an earthing-transformer is adopted in some of large cities. The direction of zero-sequence current and the protection logic of the earthing-transformer are discussed in this paper while the earthing fault takes place at any of 10 kV bus sections in city's substations. The protection scheme based on the direction of zero-sequence current is introduced for the earthing-transformer located at low-voltage side of the main transformer with dual-branches, so as to get higher power supply reliability.

Key words: low earthing resistance; earthing-transformer; direction of zero-sequence; protection logic

(上接第34页)

作者简介:

贺敏(1972-),女,工程师,从事电力系统继电保护和变电站综合自动化的工程设计与开发工作;

陆于平(1962-),男,教授,从事电力系统微机保护,尤其是主设备保护的教学和研究工作;

宋斌(1968-),男,高级工程师,从事电力系统继电保护研究与开发工作。

Application research of optical fiber differential protection used in medium-low voltage shorter transmission line

HE Min¹, LU Yurping¹, SONG Bin², XIANG Xianzheng²

(1. Southeast University, Nanjing 210096, China; 2. Nanjing Automation Research Institute, Nanjing 210003, China)

Abstract: This paper first reviews and analyzes the status of differential protection used in shorter transmission line, studying asynchronous communication for optical fiber differential protection, comparing sensitivity of complex current relay to common current relay under different fault types, analyzing characteristic of compound differential relay to traditional differential relay under different short circuit current. Then, it represents the compound differential protection scheme used in complex current, which applied to shorter transmission line in middle or lower voltage power system. This scheme can improve sensitivity of protection, and make it possible to asynchronous communication for optical fiber differential protection, and reduce cost of protection set.

Key words: shorter transmission line; asynchronous communication; differential protection; optical fiber