

PT 断线时方向元件的性能分析

杨立璠,毛 鹏

(烟台东方电子信息产业股份有限公司,山东 烟台 264001)

摘要: 研究了 PT 断线情况下的方向元件性能。通过对常用的几种方向元件的动作方程进行推导和比较,发现它们的性能在不同的情况下差异很大。认为方向元件在电压回路出现问题时,不应一概退出,如果能够根据具体的情况分别处理,将有助于提高保护装置在不利情况下的整体性能。

关键词: 线路保护; PT 断线; 方向元件

中图分类号: TM773 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2002)11-0053-03

1 引言

方向元件是各种保护功能的基础性元件,方向元件性能的好坏,直接关系到整个保护性能的优良。当电压回路发生异常,方向元件的性能将受影响。目前,国内各厂家生产的保护内都有 PT 断线检测功能,其判据也大同小异,在系统正常情况(即保护未启动)时进行电压二次回路的监测,一旦发生 PT 断线,将闭锁方向元件,这样,必然导致保护功能失去完整性。

本文具体分析各种 PT 断线情况下,发生各种故障时方向元件的动作特性,探讨了在 PT 断线情况下充分利用方向元件的可行性,并得出了有益的结论。

2 方向元件的动作特性分析

2.1 正序故障分量方向元件特性分析

目前,装置中使用的正序故障分量方向元件的通用判据为:

$$-(170^\circ+) < \arg(U_1 / I_1) < -(10^\circ+) \quad (1)$$

式中: α 表示背侧系统正序阻抗偏角,一般为 $0 \sim 30^\circ$ 。以 A 相为基准,则:

$$U_{A1} / I_{A1} = [(U_A + U_B + U_C) / 3] / I_{A1} = -Z_{m1}$$

式中: Z_{m1} 为背侧系统正序阻抗, $\alpha = e^{j120^\circ}$ 。

2.2 工频变化量方向元件性能分析

目前,工频变化量方向元件的通用判据为:

$$-(170^\circ+) < \arg(U_{\Delta 0} / I_{\Delta 0}) < -(10^\circ+) \quad (2)$$

式中: β 表示背侧系统综合阻抗偏角。

一般的,应取 I_{AB} , I_{BC} , I_{CA} 中幅值最大的相别来判断故障的方向。例如,发生 AB 相间故障,应取 I_{AB} , U_{AB} 构成方向元件。

$$\begin{aligned} \frac{U_{AB}}{I_{AB}} &= \frac{(U_A - U_{A1(0)}) - (U_B - U_{B1(0)})}{(I_A - I_{A1(0)}) - (I_B - I_{B1(0)})} = \\ &= \frac{U_{A1} - U_{B1} + U_{A2} - U_{B2}}{I_{A1} - I_{B1} + I_{A2} - I_{B2}} = \\ &= \frac{-Z_{m1} I_{A1} + Z_{m1} I_{B1} - Z_{m2} I_{A2} + Z_{m2} I_{B2}}{I_{A1} - I_{B1} + I_{A2} - I_{B2}} \end{aligned}$$

其中: $U_{q(0)}$ 为故障前相电压。

如果保护安装处背侧系统正、负序阻抗相等,即: $Z_{m1} = Z_{m2}$,则: $U_{AB} / I_{AB} = -Z_{m1}$ 。

由以上分析可知,两种方向元件完全由线路背后的系统正序阻抗 ($Z_{m1} = Z_{m2}$) 决定,都具有明确的方向性。

3 PT 断线时方向元件的性能分析

3.1 正序故障分量方向元件

3.1.1 单相断线时的性能分析

设 C 相断线,对于微机保护装置,则 C 相电压对应的采样通道读数为零,即 $U_C = 0$,没有突变,此时正序故障分量方向元件动作方程变成如下形式:

$$\begin{aligned} U_{A1} / I_{A1} &= (U_A + U_B) / (3 I_{A1}) = -2 Z_{m1} / 3 - \\ &= (Z_{m2} / 3) (I_{A2} / I_{A1}) e^{-j60^\circ} - (Z_{m0} / 3) (I_{A0} / I_{A1}) e^{j60^\circ} \quad (3) \end{aligned}$$

此情况下,当发生 A 接地故障时,故障点处有: $I_{A1} = I_{A2} = I_{A0}$,考虑正序、零序电流分配系数的不同,则:

$$\begin{aligned} U_{A1} / I_{A1} &= (-2 Z_{m1} - Z_{m2} e^{-j60^\circ} - k Z_{m0} e^{j60^\circ}) / 3 = \\ &= [-\sqrt{3} (X_{m1} - k X_{m0}) - j(5 X_{m1} + k X_{m0})] / 6 \quad (4) \end{aligned}$$

式中: k 为电流分配系数之比, X_{m1} 、 X_{m0} 为系统电抗。

由于故障相的不同,导致故障点处 A 相故障分量存在不同的关系,按照上述同样的推导思路,则

PT单相(C相)断相时,发生C相接地故障,则保护装置安装处正序故障分量方向元件的动作表达式可变换成如下形式:

$$U_{A1}/I_{A1} = (-2Z_{m1} + Z_{m2} + kZ_{m0})/3 - j(X_{m1} - kX_{m0})/3 \quad (5)$$

而发生B相接地故障时,方向元件的动作方程为:

$$U_{A1}/I_{A1} = (-2Z_{m1} - Z_{m2}e^{j60^\circ} - kZ_{m0}e^{-j60^\circ})/3 - j[\sqrt{3}(X_{m1} - kX_{m0}) - j(5X_{m1} + kX_{m0})]/6 \quad (6)$$

由上述分析,可以得出结论1: PT发生单相断线时,非断线相的单相故障,正序突变量方向元件能正确动作,但最大灵敏角偏移;断线相的单相故障,此元件可能会误动。

PT单相(C相)断线时,当发生BC相间故障,则故障点处有: $I_{A1} + I_{A2} = 0$,如果电流的正、负序分布系数按相等考虑,则在保护安装处测量电流的正序故障分量和负序分量保持上述关系,此时正序故障分量方向元件的动作方程为:

$$U_{A1}/I_{A1} = (-2Z_{m1} - Z_{m2}e^{j120^\circ})/3 - \sqrt{3}X_{m1}/6 - jX_{m1}/2 \quad (7)$$

按照同样的分析思路,当发生CA相间故障时,正序故障分量方向元件的动作方程变为:

$$U_{A1}/I_{A1} = (-2Z_{m1} + Z_{m2})/3 = -Z_{m1}/3 \quad (8)$$

而发生AB相间故障时,则为:

$$U_{A1}/I_{A1} = -\sqrt{3}X_{m1}/6 - jX_{m1}/2 \quad (9)$$

由此得出结论2: PT单相断线,发生相间故障时,正序突变量方向元件能保持正确动作,但最大灵敏角有偏移。

3.1.2 PT两相断线时的性能分析

为研究PT发生两相断线时正序故障分量方向元件的性能,不妨以BC相断线为例,则此元件的动作公式变为如下形式:

$$U_{A1}/I_{A1} = U_A/(3I_{A1}) = (U_{A1} + U_{A2} + U_{A0})/(3I_{A1}) = -Z_{m1}/3 - (Z_{m2}/3)(I_{A2}/I_{A1}) - (Z_{m0}/3)(I_{A0}/I_{A1})$$

此时,对于单相接地故障,按照3.1.1中PT单相断相时,发生各相单相接地故障保护安装处所测量到的各序分量的关系,并带入上式,可分别得到发生A、B、C相单相接地故障时的方向元件动作方程,如式(10)、(11)、(12)所示:

$$U_{A1}/I_{A1} = (-Z_{m1} - Z_{m2} - kZ_{m0})/3 \quad (10)$$

$$U_{A1}/I_{A1} = (-Z_{m1} - Z_{m2}e^{-j120^\circ} - kZ_{m0}e^{j120^\circ})/3 \quad (11)$$

$$U_{A1}/I_{A1} = (-Z_{m1} - Z_{m2}e^{j120^\circ} - kZ_{m0}e^{-j120^\circ})/3 \quad (12)$$

由此可以得出结论3: 当发生两相断线时,非断线相的单相故障类型的正序突变量方向能正确动作;断线相的单相故障可能会误动。

同理,可以得出PT两相断相,发生相间故障时此方向元件的动作方程,对于BC、CA、AB相间故障,分别如式(13)、(14)、(15)所示:

$$U_{A1}/I_{A1} = -Z_{m1}/3 + Z_{m2}/3 \quad 0 \quad (13)$$

$$U_{A1}/I_{A1} = -(Z_{m1}e^{-j60^\circ})/3 \quad (14)$$

$$U_{A1}/I_{A1} = -(Z_{m1}e^{j60^\circ})/3 \quad (15)$$

由此得出结论4: 发生两相断线,由式(13)得,这两相的相间故障的正序突变量方向一般不误动;由式(14)、(15)得,其它相间故障类型的正序突变量方向能正确动作。

发生PT三相断线时,由于保护测量到的电压正序故障分量为零,小于门槛值,所以此时正序突变量方向元件不会误动。

3.2 工频变化量方向元件

由于工频变化量方向元件与正序故障分量方向元件具有不同的动作公式,必然导致PT断线时,其性能表现不同,下面就不同的断相情况下,不同故障类型此元件的性能表现分别给予讨论。

3.2.1 PT单相断线时的性能分析

假定B相PT发生断线,此时当发生AB相间故障时,工频变化量方向元件应取 I_{AB} , U_{AB} ,且由 $I_A = -I_B$ (设正、负序电流分布系数相等),则此元件的动作方程变为如下形式:

$$U_{AB}/I_{AB} = (U_{A1} + U_{A2})/(I_{A1} - I_{B1} + I_{A2} - I_{B2}) = (U_{A1} + U_{A2})/[2(I_{A1} + I_{A2})] = -Z_{m1}/2 \quad (16)$$

按照同样的分析思路,类似地可推出,当发生BC、CA相间故障时此元件的动作方程,分别如式(17)、(18)所示:

$$U_{BC}/I_{BC} = -Z_{m1}/2 \quad (17)$$

$$U_{CA}/I_{CA} = -Z_{m1} \quad (18)$$

由此得出结论5: 对于工频变化量方向元件,当PT单相断线,发生相间故障时,此方向元件能正确动作。

当发生A接地故障时,此方向元件应取 I_{AB} , U_{AB} ,或 I_{CA} , U_{CA} 来形成动作方程,由于此时PT单相断线,则动作方程变成如下形式:

$$U_{AB}/I_{AB} = (U_{A1} + U_{A2} + U_{A0})/(I_{A1} - I_{B1} +$$

$$I_{A2} - I_{B2} = -2Z_{m1}/3 - kZ_{m0}/3$$

$$U_{CA}/I_{CA} = -Z_{m1}$$

同理,当发生B相、C相单相接地故障时,此元件的动作方程分别如式(19)、(20)所示:

$$\begin{cases} U_{AB}/I_{AB} = -Z_{m1}/3 + kZ_{m0}/3 \\ U_{BC}/I_{BC} = -Z_{m1}/3 + kZ_{m0}/3 \\ U_{CA}/I_{CA} = -Z_{m1} \\ U_{BC}/I_{BC} = -2Z_{m1}/3 - kZ_{m0}/3 \end{cases} \quad (19)$$

$$\begin{cases} U_{AB}/I_{AB} = -Z_{m1}/3 + kZ_{m0}/3 \\ U_{BC}/I_{BC} = -Z_{m1}/3 + kZ_{m0}/3 \\ U_{CA}/I_{CA} = -Z_{m1} \\ U_{BC}/I_{BC} = -2Z_{m1}/3 - kZ_{m0}/3 \end{cases} \quad (20)$$

由上述分析,得出结论6: PT单相断线,非断线相发生单相故障时,工频突变量方向元件能正确动作;断线相发生单相故障时,工频突变量方向元件可能会误动。

3.2.2 PT两相断线时的性能分析

假定B、C两相PT发生断线,当发生AB相间故障时,按照3.2.1中的分析思路,此时工频变化方向元件的动作方程为:

$$U_{AB}/I_{AB} = -Z_{m1}/2$$

同理可得CA相间故障时的动作方程为:

$$U_{CA}/I_{CA} = -Z_{m1}/2$$

当发生BC相间故障时,此元件动作方程应取 I_{BC} , U_{BC} ,但由于 $U_{BC} = 0$,小于门槛值,所以此元件失效,不作判定。

由此得出结论7: PT两相断线时,断线的两相发生相间故障时,工频变化量方向元件失效,不会误动;其它相发生相间故障时,此方向元件能正确动作。

此断线情况下,当发生单相接地故障时,按照3.2.1中的分析方法,此方向元件对应于A、B、C相单相接地故障的动作方程分别为式(21)、(22)、(23):

$$\begin{cases} U_{AB}/I_{AB} = -2Z_{m1}/3 - kZ_{m0}/3 \\ U_{CA}/I_{CA} = -Z_{m1}/3 - kZ_{m0}/3 \end{cases} \quad (21)$$

$$\begin{cases} U_{AB}/I_{AB} = -Z_{m1}/3 + kZ_{m0}/3 \\ U_{BC}/I_{BC} = 0 \end{cases} \quad (22)$$

$$\begin{cases} U_{CA}/I_{CA} = -Z_{m1}/3 + kZ_{m0}/3 \\ U_{BC}/I_{BC} = 0 \end{cases} \quad (23)$$

由此得出结论8: 当PT两相断线,非断线相发生单相故障时,工频变化量方向元件能正确动作;断线相发生单相故障时,此方向元件可能会误动。

PT两相断线情况下,当发生A、B、C三相对称故障时,有: $I_{AB} = I_{BC} = I_{CA}$,此时,工频变化量方向元件的动作方程为:

$$U_{AB}/I_{AB} = U_{A1}/(\sqrt{3}I_{A1}\mathbf{x}e^{j30^\circ}) = -Z_{m1}e^{-j30^\circ}/\sqrt{3}$$

$$U_{BC}/I_{BC} = 0$$

$$U_{CA}/I_{CA} = -U_{A1}/(\sqrt{3}I_{A1}\mathbf{x}e^{j150^\circ}) = -Z_{m1}e^{-j30^\circ}/\sqrt{3}$$

由此可知: PT两相断线,发生三相对称故障时,工频变化量方向元件仍能正确动作。

由于PT三相断线,保护装置所能测量到的电压突变量为零,小于门槛值,此元件不作判定,所以此时发生任何故障,工频变化量方向元件不会误动。

4 结论

本文通过理论分析,就PT各种断线情况下,线路发生各种故障时,正序故障分量方向元件和工频变化量方向元件的性能作了较系统的分析,得出以下结论:

(1) 在PT断线的情况下,方向元件的性能发生了不同程度的恶化,有的角度发生偏转,有的灵敏度下降,有的甚至无法使用。

(2) 可以通过对PT断线相别的进一步识别,结合故障选相功能,适当地调整方向元件的电压门槛或动作区,可以使方向元件在不利的情况下最大程度地发挥作用,尤其是故障相中没有断线相的情况。

(3) 比较而言,相电流差突变量方向元件在PT断线时的性能优于正序突变量方向元件,因为前者灵敏角变化较小。

另外,本文考虑PT断线时,认为断线相电压无突变。而从现场情况来看,断线往往发生在系统发生故障造成母线过电压时,PT二次小开关跳闸或保险熔断情况下,断线相电压突变量作为一种故障分量参与运算,尚需进一步分析。

参考文献:

- [1] 葛耀中. 新型继电保护与故障测距原理与技术[M]. 西安:西安交通大学出版社,1996.
- [2] 何仰赞,等. 电力系统分析[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1985.

收稿日期: 2002-03-28

作者简介:

杨立璠(1974-),男,学士,主要从事继电保护产品研究与开发工作;

毛鹏(1973-),男,博士,主要从事故障分析和继电保护产品研究与开发工作。

(下转第61页)

困难。因此,这种方式应提倡推广采用。

(2) 将主变压器开关 TA 与旁路开关 TA 进行切换。正常时,差动保护接在主变压器开关 TA 上工作,当旁路开关代主变压器开关运行时,将差动保护切换至旁路开关 TA (而不是主变套管 TA) 上工作。这样差动保护的範圍不缩小,并把旁路母线包括在差动保护的範圍之内,当旁路母线发生短路故障时,差动保护仍可快速动作切除故障。

这样做,目前来说并不困难,因为,过去之所以不能这样做主要是因为过去国产 TA 的二次绕组数量达不到要求(220 kV TA 只能达到 6 组,110 kV TA 只能达到 4 组)。目前,国产 TA 二次绕组的数量都能达到要求,并且成本不需增加多少。

这种接法的主要缺点是:TA 二次回路的切换操作麻烦,增加了运行人员操作时人为因素出错的机率,不受运行人员的欢迎。为尽量减少 TA 二次回路的切换操作,配置双差动保护时,最好将一组差动固定接入主变套管 TA 回路(即前面所述的固定接入法的小差),另一组差动(即前面所述的固定接入法的大差)经切换接入主变开关 TA 和旁路 TA,以减少运行人员操作的复杂性。

5 主变压器套管 TA 变比的选择及其它

(1) 若旁路开关代主变开关运行时,确实需要将主变差动保护由主变开关 TA 切换至主变套管 TA 时,就应在设计时考虑将主变套管 TA 的变比选择得与主变开关 TA 的变比一致,以避免在二次回路增加变流器,增加二次回路的复杂性,减少二次回路

故障的机率。

(2) 制造厂在生产主变保护柜时,应改进传统的差动保护 TA 切换端子,采用更便于操作的切换端子(当然工作的可靠性不能降低),以减少操作的复杂性,将操作时间及出错的可能性降至最低。

(3) 近几年,变电站自动化的应用越来越多,综合自动化设备的生产厂商也越来越多,但在执行规范标准方面参差不齐,有的厂家片面地理解变电站综合自动化的含意,不研究,不熟悉电力系统运行规程,随意减少保护压板,将主变差动保护与瓦斯保护、压力保护等共用一个出口压板,给实际运行操作带来了不便,有的甚至连通过控制字投退的软压板也不设,严重违背了变压器运行规程中关于变压器主保护不能同时停用的规定。因此,在设备订货时有必要向厂家提出明确要求,差动保护必须要设独立的出口压板,双差动保护每套都应有独立的出口压板,以便于运行操作。

参考文献:

- [1] 卓乐友,等. 电力工程电气设计手册. (电气二次部分) [M]. 北京:水利电力出版社,1990.
- [2] 王炳华.“防止电力生产重大事故的二十五项重点要求”辅导教材 [M]. 北京:中国电力出版社,2001,9.

收稿日期: 2001-07-08

作者简介:

李文(1965-),男,工程师,从事变电站工程建设管理工作。

Discussion on several problems in 220 kV transformer protection design

LI Wen

(Xiangfan Power Supply Bureau, Xiangfan 441002, China)

Abstract: By analysing and comparing several wirings in differential protection design of 220kV/110kV/10kV step-down transformer, the author puts forward on assumption to dispel protection's dead zone under special operation mode and several problem which should be improved in producing and designing the transformer differential protection device.

Key words: power transformer; differential protection

(上接第 55 页)

The performance of directional element when PT secondary circuit open

YANGLi-fan, MAO Peng

(Yantai Dongfang Electronic Information Industry Co. Ltd, Yantai 264001, China)

Abstract: In this paper, the performance of directional element when PT secondary circuit open is studied. By the study and comparison, it is concluded that the directional element should not be canceled thoroughly. It is helpful for improving the relay's performance if deal it according to different cases.

Key words: line relay; PT circuit open; directional element