

开口三角绕组任意连接的电压互感器断线闭锁新方法

黄少锋,李 欧,费 彬,申洪明

(华北电力大学 新能源电力系统国家重点实验室,北京 102206)

摘要: 现有电压互感器(TV)断线闭锁措施没有考虑系统发生故障时 TV 断线的情况,因此在智能电网信息共享的大背景下,针对开口三角绕组任意连接的 TV,提出短路故障时利用开口三角电压与电压互感器二次侧自产零序电压的关系对电压互感器的断线情况进行识别。对所提方法的识别盲区提出了解决方法。分析结果表明结合选相元件,所提方法能够在线路故障的情况下发生 TV 断线时对相关保护进行有效闭锁。在系统发生接地故障且没有发生 TV 断线的情况下,可利用故障报告预先判断接线极性,简化后续的 TV 断线识别过程。

关键词: 电压互感器; 断线; 开口三角电压; 故障; 闭锁; 选相; 继电保护

中图分类号: TM 73

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2015.07.010

0 引言

电压互感器(TV)二次回路负载众多,电压互感器断线的情况较容易发生。电压互感器二次电压正常运行是保证距离保护、功率方向保护以及含低电压启动元件(QDJ)的过流保护正确动作的前提。因此,需要在发生电压互感器断线时采取闭锁措施,防止各种保护误动^[1-6]。

对电压互感器断线闭锁的要求是:当电压互感器二次回路出现断线时,应将其检测出来,发出警告并将相应保护闭锁;当电压回路正常,被保护线路发生短路时,断线闭锁不能误动。

目前常用的断线闭锁措施仅利用测得的电压幅值大小进行识别,且没有考虑被保护线路发生故障及电压互感器断线的情况^[2-10]。启动元件动作后,电压互感器断线闭锁方案自动退出,这时若电压互感器发生断线,由于没有闭锁信号,相关保护将会误动。而现有微机保护中,启动元件十分灵敏,启动次数较多,更加增大了保护误动的可能性。

针对上述一系列问题,本文分析了现有电压互感器断线闭锁措施的应用及不足,提出了一种适用于短路故障后的电压互感器断线闭锁新方法,并允许开口三角绕组第一次的接线极性为任意的。虽然目前的保护设备不采用开口三角的电压,但在智能化电网的时代,已经具备了信息共享的条件^[11-12],因此,应当充分利用共享的信息(包括开口三角电压),克服不足,提升保护的性能。

1 现有电压互感器断线闭锁条件

a. 电压互感器二次侧 a 相、b 相、c 相电压之和

$|U_a + U_b + U_c| > 8 \text{ V}$,且启动元件不启动,延时约 1.25 s 发电压互感器回路异常信号并闭锁保护。

该判据主要判断电压互感器的一相和两相断线。启动元件不启动的条件是为了防止一次系统发生接地短路时错误地将距离保护闭锁而采取的反闭锁措施。本判据不能反应电压互感器的三相断线。

b. $|U_a + U_b + U_c| < 8 \text{ V}$,电压互感器二次侧正序电压 $U_1 < 30 \text{ V}$,启动元件不启动,且满足任意一相有电流 ($I_\varphi > 0.08 I_N$, I_N 为额定电流, $\varphi = a, b, c$) 或者跳闸位置继电器(TWJ)不动作,延时约 1.25 s 发电压互感器回路异常信号闭锁保护。

无论电压互感器是安装在线路侧还是母线侧,该判据均可以检测电压互感器的三相断线。

2 电压互感器断线闭锁新方法

现有研究集中在系统正常运行条件下,发生电压互感器断线时如何准确识别。但是,存在这样的工况:当下一级线路出口发生故障时,应该由下一级 I 段保护切除,其余保护返回,若本线路此时发生电压互感器断线,本线路 II、III 段将不能在故障切除后可靠返回,延时一到则发出跳闸命令,从而扩大了故障范围。本文主要探讨如何在发生接地故障后检测出电压互感器断线。

2.1 断线判据

系统发生接地故障,电压互感器开口三角绕组只有接线正确才能保证保护正确动作。零序电压若由三相电压互感器的第三绕组串联取得(即开口三角电压),系统正常运行时值为零,此时,利用工作电压检查接线是否正确是较困难的,这也是目前不使用开口三角电压的主要原因。机械型保护常因开口三角绕组极性接错而误动或拒动。本文提出的电压互感器断线闭锁判据允许开口三角绕组第一次的接线极性为任意的。

收稿日期:2014-07-04;修回日期:2015-05-10

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助项目(2012CB215206)

Project supported by the National Basic Research Program of China(973 Program)(2012CB215206)

记自产零序电压为 $U_{z_0} = U_a + U_b + U_c = 3U_0$, 开口三角绕组引出的电压记为 U_{kk} 。若极性接对, 则 $U_{kk} = 3U_0$; 若极性接反, 则 $U_{kk} = -3U_0$ 。电压互感器接线方式如图 1 所示。

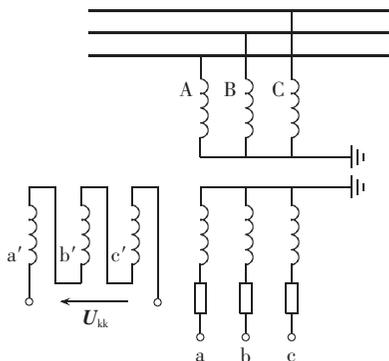


图 1 电压互感器接线方式
Fig.1 PT connection mode

由此可得:

$$|U_{kk} - U_{z_0}| < \sigma \quad (1)$$

$$|U_{kk} + U_{z_0}| < \sigma \quad (2)$$

其中, σ 为考虑误差影响而设定的较小的门槛值, 根据工程实际, σ 可取 3~5 V (二次侧)。电压互感器极性接对时, 式(1)成立; 电压互感器极性接错时, 式(2)成立。开口三角的连接只有 2 种情况, 因此电压互感器断线闭锁条件定义为: 式(1)、(2)均不成立。

2.2 新方法适用性分析

电压互感器开口三角绕组任意连接, 系统发生不对称接地故障时, U_{kk} 等于 $3U_0$ 或 $-3U_0$ 。电压互感器二次侧有以下 2 种可能。

a. 电压互感器正常。 $U_{z_0} = 3U_0$, 开口三角电压极性接对时, 式(1)成立, 极性接反时, 式(2)成立。

b. 电压互感器断线。由于断线相失压, $U_{z_0} \neq 3U_0$, 式(1)、(2)均不成立。

于是, 新判据的应用情况如表 1 所示。

表 1 PT 断线闭锁新方法适用性
Table 1 Applicability of proposed method

系统故障类型	判据应用情况	
	电压互感器正常	电压互感器断线
不对称接地故障	式(1)或(2)成立	式(1)、(2)均不成立

注意, 针对情况 **b**, 式(1)、(2)均不成立的判断需要进一步验证。例如, 电压互感器发生 A 相断线且系统 BC 相接地故障时, U_{kk} 等于 $3U_0$ 或 $-3U_0$, $U_{z_0} = U_b + U_c$ 。此时是否可能存在 $U_b + U_c$ 约等于 $3U_0$ 或 $-3U_0$, 即式(1)、(2)有一式成立的情况? 下文将对此进行详细论述。

2.3 接地故障时本文方法性能分析

以下用图 2 所示的简单系统为例进行讨论。图中, Z_s 、 Z_R 分别为送端系统和受端系统阻抗; Z_k 为线

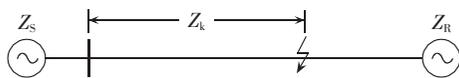


图 2 双电源系统示意图

Fig.2 Schematic diagram of dual power-source system

路短路阻抗。

考虑各种故障情形下式(1)、(2)是否成立, 具体步骤为:

a. 故障分析, 计算系统发生接地故障时保护安装处的电流、电压, 从而得到开口三角电压 U_{kk} ;

b. 根据断线类型计算自产零序电压 U_{z_0} ;

c. 不考虑误差, 令 $U_{kk} = U_{z_0}$ 和 $U_{kk} = -U_{z_0}$, 分别找出等式成立条件并判断条件合理性。

单相接地故障的情况, 以 A 相接地故障为例, 讨论电压互感器发生一相、两相或三相断线时, 式(1)、式(2)是否成立。对于微机保护装置, 对应断线相的采样通道读数为 0。

由故障分析可得保护安装处的三相电压为:

$$\begin{cases} U_{MA} = U_{kA} + I_{M1}Z_{k1} + I_{M2}Z_{k2} + I_{M0}Z_{k0} = E_a \frac{2Z_{k1} + Z_{k0}}{2Z_{1\Sigma} + Z_{0\Sigma}} \\ U_{MB} = E_b - E_a \frac{(Z_{0\Sigma} - Z_{1\Sigma}) - (Z_{k0} - Z_{k1})}{2Z_{1\Sigma} + Z_{0\Sigma}} \\ U_{MC} = E_c - E_a \frac{(Z_{0\Sigma} - Z_{1\Sigma}) - (Z_{k0} - Z_{k1})}{2Z_{1\Sigma} + Z_{0\Sigma}} \end{cases} \quad (3)$$

其中, U_{kA} 为故障点 A 相电压; I_{M1} 、 I_{M2} 、 I_{M0} 分别为流经保护安装处的各序电流; E_a 、 E_b 、 E_c 分别为短路点故障前各相电压; $Z_{1\Sigma}$ 、 $Z_{2\Sigma}$ 、 $Z_{0\Sigma}$ 分别为短路点正、负、零序等值阻抗, 它们分别包含正、负、零序系统阻抗 Z_{S1} 、 Z_{S2} 、 Z_{S0} ; Z_{k1} 、 Z_{k2} 、 Z_{k0} 分别为短路点到保护安装处正、负、零序阻抗。

电压互感器二次断线不影响开口三角电压, 则:

$$U_{kk} = U_{Ma} + U_{Mb} + U_{Mc} = E_a \frac{-3Z_{0\Sigma} + 3Z_{k0}}{2Z_{1\Sigma} + Z_{0\Sigma}} \quad (4)$$

其中, U_{Ma} 、 U_{Mb} 、 U_{Mc} 为电压互感器二次侧三相电压。

a. 一相断线。

若发生的是电压互感器 a 相断线, 则自产零序电压为:

$$U_{z_0} = U_{Mb} + U_{Mc} = -E_a \frac{3Z_{0\Sigma} - 2Z_{k0} + 2Z_{k1}}{2Z_{1\Sigma} + Z_{0\Sigma}} \quad (5)$$

若 $U_{kk} = U_{z_0}$, 可得 $Z_{k0} = -2Z_{k1}$; 若 $U_{kk} = -U_{z_0}$, 则 $Z_{S0} = -\frac{1}{6}(Z_{k0} + Z_{k1})$, 这 2 种情况都不会发生。

同理可计算发生 b 相、c 相断线时的情况。

b. 两相断线。

若发生的是电压互感器 bc 两相断线, 则此时自产零序电压为:

$$U_{z_0} = U_a + U_b + U_c = U_a = E_a \frac{2Z_{k1} + Z_{k0}}{2Z_{1\Sigma} + Z_{0\Sigma}} \quad (6)$$

假设 $U_{kk} = U_{z_0}$, 则需要满足 $Z_{k1} = \frac{-3}{2+k}Z_{S0}$, 其中

$k' = \frac{Z_{k0}}{Z_{k1}}$, 该情况不存在;若 $U_{kk} = -U_{zc}$, 则 $Z_{k1} = \frac{3}{2+k'}Z_{S0}$,

参数满足这个条件时,式(2)成立,从理论计算上, $Z_{k1} = \frac{3}{2+k'}Z_{S0}$ 的位置为线路上某一点,实际由于误差影响,

$Z_{k1} = \frac{3}{2+k'}Z_{S0}$ 附近的一个邻域区间都将满足条件。

同理可计算电压互感器 ab 两相断线、ca 两相断线的情形。

c. 三相断线。

易得此情况下自产零序电压 U_{zc} 为 0,由式(4)可得,当 $Z_{0\Sigma} = Z_{k0}$ 时,开口三角压 U_{kk} 为 0。 $Z_{0\Sigma}$ 大小与系统阻抗和短路点位置有关,因此,当系统阻抗与短路位置满足相关等式时,式(1)、(2)均成立。

两相接地故障情况的分析方法类似。

分析结果表明,不对称接地故障,电压互感器发生断线时,式(1)、(2)是否满足的结果如表 2、3 所示,其中,×表示不可能出现这样的情况;√表示系统参数满足一定条件时,有可能出现此种情况。

表 2 单相接地故障时对不同断线情况的识别结果
Table 2 PT wire-break condition identification for single-phase grounding fault

组合	$U_{kk} = U_{zc}$	$U_{kk} = -U_{zc}$
A 相接地, a 相断线	×	×
A 相接地, b 相断线	×	×
A 相接地, c 相断线	×	×
A 相接地, ab 相断线	×	×
A 相接地, bc 相断线	×	√
A 相接地, ca 相断线	×	×
A 相接地, 三相断线	×	√

表 3 两相接地故障时对不同断线情况的识别结果
Table 3 PT wire-break condition identification for two-phase grounding fault

组合	$U_{kk} = U_{zc}$	$U_{kk} = -U_{zc}$
BC 相接地, a 相断线	×	√
BC 相接地, b 相断线	×	×
BC 相接地, c 相断线	×	×
BC 相接地, ab 相断线	×	×
BC 相接地, bc 相断线	×	×
BC 相接地, ca 相断线	×	×
BC 相接地, 三相断线	×	√

由于轮换对称性,其他情形可以类推。

由此可以看到,此前提出的电压互感器断线闭锁判据并不完善,在某些故障类型和断线情形的组合下(本文称之为盲区),可能存在式(1)或式(2)成立,没有发出闭锁信号,从而引起保护误动。故 2.1 节中的断线判据需要进一步补充修正。

3 盲区识别

为完善保护措施,需要找出电压互感器正常与

盲区的区别。

电压互感器三相断线时,测得的三相电压幅值均为 0,与系统三相短路的电气量特征相似。若存在零序电流,则可排除系统三相短路的可能性,如果 $\max\{|U_A|, |U_B|, |U_C|\} < 8\text{ V}$, 识别为三相断线。

排除三相断线后,盲区的一个重要特征为:系统发生接地故障,非故障相发生电压互感器二次侧断线。故测得的三相电压很低,可以此为依据利用测得三相电压都低于某一阈值的方法加以识别。

但对于长距离输电线路而言,当线路远端发生接地故障时, U_{zc} 的值仍比较大,其值将与电压互感器正常时近处故障下的值相当,仅利用电压特征难以正确识别。因此,可以考虑引入电流量进行综合判断,本文提出了以下 2 种补充方案。

3.1 引入电压电流关联性进行判断

排除电压互感器三相断线后,电压互感器正常与盲区的并集包含 3 种情况:①电压互感器发生两相断线,线路非断线相发生接地故障;②电压互感器发生一相断线,线路非断线相发生两相接地故障;③电压互感器正常,线路发生不对称接地故障。

系统实际工作中,断线相残压不会高于故障相残压^[12]。正常情况下,线路某相发生接地故障时,保护安装处测得的故障相电流升高,而故障相电压相应降低。在此,称这种现象为电压电流关联性。电压互感器发生断线,线路发生接地故障时,这种关联性就会被破坏。上述的 3 种情况对应的电压电流关系为:① $\varphi(U_{\max}) = \varphi(I_{\max})$, 这里 $\varphi(\cdot)$ 指取相,如 $U_{\max} = |U_A|$, 则 $\varphi(U_{\max}) = A$;② $\varphi(U_{\min}) = \varphi(I_{\min})$;③ $\varphi(U_{\min}) = \varphi(I_{\max})$ 或 $\varphi(U_{\max}) = \varphi(I_{\min})$ 。具体类别如表 4 所示。

位于盲区时,有 $\varphi(U_{\max}) = \varphi(I_{\max})$ 或 $\varphi(U_{\min}) = \varphi(I_{\max})$ 成立;电压互感器正常时则不成立。

表 4 电压互感器正常与电压互感器断线时的电压关系和电流关系

Table 4 Relationship between voltages and between currents for PT with and without wire-break

系统故障类型	电压关系		电流关系
	电压互感器正常	电压互感器断线	
A 相接地	$U_{\min} = U_A $ $ U_B = U_C $	$U_{\max} = U_A $ $ U_B = U_C $	$I_{\max} = I_A $ $ I_B = I_C $
BC 两相接地	$U_{\max} = U_A $ $ U_B = U_C $	$U_{\min} = U_A $ $ U_B = U_C $	$I_{\min} = I_A $ $ I_B = I_C $
B 相接地	$U_{\min} = U_B $ $ U_A = U_C $	$U_{\max} = U_B $ $ U_A = U_C $	$I_{\max} = I_B $ $ I_A = I_C $
AC 两相接地	$U_{\max} = U_B $ $ U_A = U_C $	$U_{\min} = U_B $ $ U_A = U_C $	$I_{\min} = I_B $ $ I_A = I_C $
C 相接地	$U_{\min} = U_C $ $ U_A = U_B $	$U_{\max} = U_C $ $ U_A = U_B $	$I_{\max} = I_C $ $ I_A = I_B $
AB 两相接地	$U_{\max} = U_C $ $ U_A = U_B $	$U_{\min} = U_C $ $ U_A = U_B $	$I_{\min} = I_C $ $ I_A = I_B $

该方案利用电压电流的关联性在大多数情况下能够有效识别电压互感器正常与盲区,但当母线出口发生故障时,断线相与故障相电压都接近 0,难以选出 U_{\max} 或 U_{\min} 具体是哪一项,从而难以判断电压电流关联性。

3.2 借助选相元件综合判断

由于单相重合闸的要求,现有微机保护都装设有选相元件。电压互感器断线时,盲区的一个重要特点为:非故障相电压很低。可以通过选相元件选出故障相,比较非故障相电压进行识别。其保护流程图如图 3 所示。

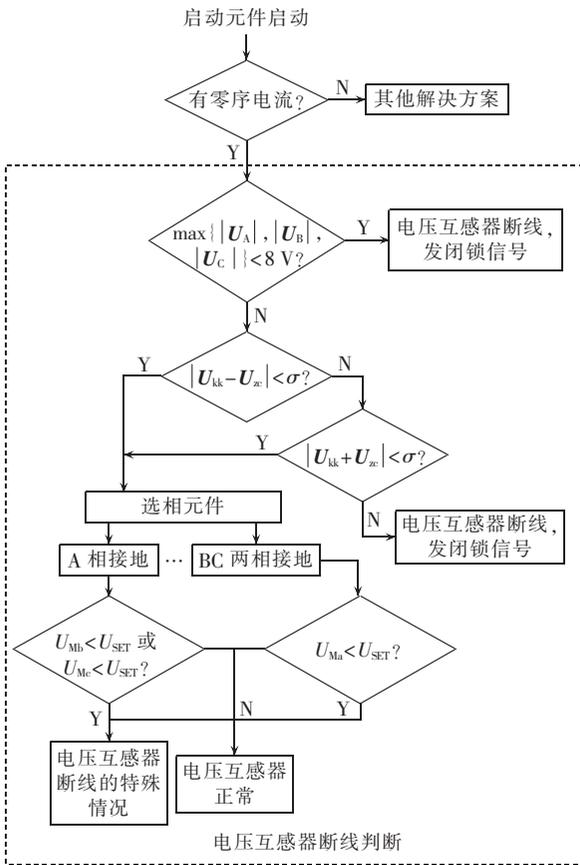


图 3 结合选相元件的电压互感器断线闭锁方案

Fig.3 PT wire-break blocking scheme combined with phase selecting element

对于线路上任意位置发生故障,盲区时,非故障相为断线相,测得电压接近 0,取 U_{SET} 为 10% 额定电压。电压互感器正常时,保护安装处非故障相电压下降很少。

图 3 中 $\max\{|U_A|, |U_B|, |U_C|\} < 8V$ 的条件为识别电压互感器三相断线而设立。实际上,在保护出口发生一相或两相接地故障,电压互感器非故障相又发生断线时,同样存在测得的三相电压幅值均接近于 0 的情况,即 $\max\{|U_A|, |U_B|, |U_C|\} < 8V$ 成立,也能识别为电压互感器断线。

目前国内数字式高压线路保护装置中主要采用快速保护+稳态保护的配置方案。稳态保护主要利用序分量与阻抗元件结合进行选相^[13],而本文研究电压互感器断线后的选相,阻抗元件难以工作,该方法显然不能适用。鉴于此,可以选择利用电流突变量选相暂态方法^[14-16],电流特征量在电压互感器断线后不受影响,与电压互感器断线闭锁方案配合具有很强的实用性。

3.3 仿真实验

将图 2 中 500 kV 系统在 PSCAD 中建立模型进行仿真,送电端系数参数, $Z_{S1}=j23 \Omega$, $Z_{S0}=j40 \Omega$; 受电端系统参数, $Z_{R1}=j56 \Omega$, $Z_{R0}=j115 \Omega$; 两侧电势功角为 30° 。输电线路参数:线路长度为 200 km,正、负序阻抗 $Z_{L1}=Z_{L2}=0.01839+j0.2639 \Omega/\text{km}$, 零序阻抗 $Z_{L0}=0.1413+j0.6027 \Omega/\text{km}$ 。

图 4 为输电线路不同地点发生接地故障,同时电压互感器发生 bc 两相断线时 U_{zc} 、 U_{kk} 的幅值、相角特性图。

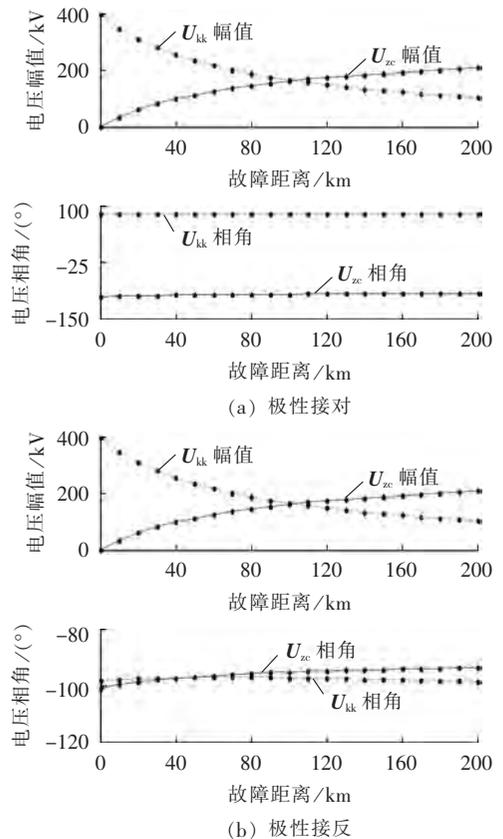


图 4 系统 A 相接地故障且电压互感器 bc 相断线时, U_{zc} 、 U_{kk} 的幅值、相角特性

Fig.4 Phase and amplitude characteristics of U_{zc} and U_{kk} when phase-b and phase-c have PT wire-break during phase-A grounding fault

从图 4 可看出,随故障距离改变, U_{zc} 、 U_{kk} 相角波动很小,开口三角极性接对时,二者差值约为 180° ,可近似认为 U_{zc} 、 U_{kk} 反向;开口三角极性接反时,二

者差值很小,可近似认为 U_{zc} 、 U_{kk} 同向。当故障距离较小和较大时, U_{zc} 、 U_{kk} 幅值差异较大,结合相角特点,无论极性正反,式(1)、(2)均不成立,可以直接发出闭锁信号。

而当故障距离在 100 km 左右时, U_{zc} 、 U_{kk} 幅值差异较小,开口三角极性接对时,式(2)成立;开口三角极性接反时,式(1)成立。则无论极性正反,式(1)、(2)中有一式成立,由图 3 流程图可知,此时并不识别为电压互感器正常,通过选相元件得出存在 A 相接地,由于电压互感器的 bc 两相断线失压, $U_{Mb} < U_{SET}$ 或 $U_{Mc} < U_{SET}$ 成立,可识别发生了电压互感器断线。

因此,与选相元件有效配合后,此方案在各种情况下能正确识别电压互感器正常和盲区。

4 接地故障后电压互感器断线闭锁方法简化

当系统发生任一次接地故障后,若事后确认没有发生电压互感器断线,查阅微机保护故障报告,可做以下判断:若式(1)成立,开口三角绕组极性接对;若式(2)成立,开口三角绕组极性接反。考虑在微机保护内存中设定“确认位”QR 与“极性位”JX 以确定开口三角绕组的极性。具体实施步骤如下:

a. QR、JX 的初始值均设为 0;

b. 调用系统发生任一次接地故障(电压互感器未断线)的故障报告;

c. 根据故障报告记录信息,若式(1)成立,JX 保持,仍为 0,若式(2)成立则 JX 跳变为 1;

d. JX 设置完毕后,发送确认信息给 QR,QR 跳变为 1。

引入极性确认的电压互感器断线闭锁判断流程如图 5 所示。

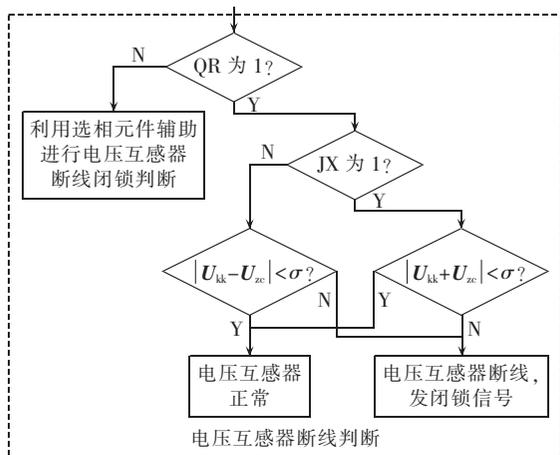


图 5 引入极性确认的电压互感器断线闭锁方案

Fig.5 PT wire-break blocking scheme with polarity confirmation

由图 5 知,确认开口三角绕组极性后 QR 为 1。若 JX 为 0,则开口三角绕组极性正确,利用式(1)即

可判断电压互感器是否发生断线。同理,若 JX 为 1,开口三角绕组极性接反,利用式(2)便能确认电压互感器是否断线。因此,引入“确认位”QR 与“极性位”JX 后,无需工作人员到现场纠正开口三角绕组极性,可通过简单判据识别电压互感器断线,不必为盲区的识别进行繁琐处理,在一定程度上可以大幅简化电压互感器断线闭锁方案,尤其适用于可能出现多次接地故障的系统。

5 结论

a. 本文在总结了目前电压互感器断线的研究方法和成果的基础上,提出如何在发生故障时检测电压互感器断线的问题,并针对此问题提出了引入任意连接的开口三角电压与自产零序电压比较的方法。

b. 经分析可知,新的闭锁方法的适用范围存在盲区。因此又提出了 2 种方案来弥补判据的不足:第 1 种方案引入电压电流关联性,电压互感器断线与正常时特征差异明显,但出口故障时判断困难;第 2 种方案借助选相元件,能在较大范围内适应系统的运行状况。

c. 通过引入“确认位”QR 与“极性位”JX 的概念,在系统发生任一次接地故障且电压互感器未断线时,确认开口绕组极性,仅利用自产零序电压 U_{zc} 与开口三角电压 U_{kk} 的单一等式关系即可判断是否发生电压互感器断线,大幅简化了电压互感器断线闭锁方案。

d. 本文提出的闭锁方案适用于短路故障后的电压互感器断线识别,现有保护装置内置的传统电压互感器断线闭锁方案针对于系统正常运行时的电压互感器断线识别,两者互不干扰。仅在启动元件动作后投入所提出的电压互感器断线闭锁方案,既可以实现故障后的电压互感器断线识别,又不会对现有保护造成负面影响。另外,文中所涉及的故障只限于不对称接地故障,对于相间故障时电压互感器断线的检测,将会在下一步工作中进行深入分析。

参考文献:

- [1] 刘万顺,黄少锋,徐玉琴. 电力系统故障分析[M]. 北京:中国电力出版社,1998:177-200.
- [2] 国家电力调度通信中心. 国家电网公司继电保护培训教材[M]. 北京:中国电力出版社,2009:226-229.
- [3] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 3 版. 北京:中国电力出版社,2005:15-55.
- [4] 陈俊,郭自刚,张琦雪,等. 基于比率制动特性的电压互感器中线断线判别方法[J]. 电力自动化设备,2011,31(4):100-103.
CHEN Jun, GUO Zigang, ZHANG Qixue, et al. Affecting factors of grid-connected wind power on fault current and impact on protection relay[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(4):100-103.
- [5] 何志勤,张哲,尹项根,等. 电力系统广域继电保护研究综述[J].

- 电力自动化设备,2010,30(5):125-130.
- HE Zhiqin,ZHANG Zhe,YIN Xianggen,et al. Overview of power system wide area protection[J]. Electric Power Automation Equipment,2010,30(5):125-130.
- [6] 刘东超,李铁仲,张哲,等. PT 中性线断线的研究[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(5):73-76.
- LIU Dongchao,LI Tiezhong,ZHANG Zhe,et al. Research on PT neutral line failure[J]. Power System Protection and Control,2010,38(5):73-76.
- [7] 原治安. 电压互感器断线原理与应用[J]. 电力自动化设备,2009,29(8):147-150.
- YUAN Zhian. Principle and application of loss-of-potential logic [J]. Electric Power Automation Equipment,2009,29(8):147-150.
- [8] 张烽宁,徐丙垠,陈平. 基于相间电压幅值比较原理的 PT 断线检测[J]. 继电器,2005,33(12):22-26.
- ZHANG Yining,XU Bingyin,CHEN Ping. PT break detection based on the principle of phase to phase voltage amplitude comparison[J]. Relay,2005,33(12):22-26.
- [9] 陈福锋. 电流互感器断线情况下的接地距离保护改进方案[J]. 电力自动化设备,2014,34(12):117-122.
- CHEN Fufeng. Improvement of grounding-fault distance protection under CT disconnection[J]. Electric Power Automation Equipment,2014,34(12):117-122.
- [10] 张琦雪,谢亮,陈佳胜,等. 通过比较发电机 3 次谐波电压识别 TV 断线的新方法[J]. 电力自动化设备,2011,31(5):67-70.
- ZHANG Qixue,XIE Liang,CHEN Jiasheng,et al. PT failure detection by synchronous generator third-harmonic voltage comparison[J]. Electric Power Automation Equipment,2011,31(5):67-70.
- [11] 薛晨,黎灿兵,黄小庆,等. 智能变电站信息一体化应用[J]. 电力自动化设备,2011,31(7):110-114.
- XUE Chen,LI Canbing,HUANG Xiaoqing,et al. Application of intelligent substation information integration[J]. Electric Power Automation Equipment,2011,31(7):110-114.
- [12] 马韬韬,李珂,朱少华,等. 智能电网信息和通信技术关键问题探讨[J]. 电力自动化设备,2010,30(5):87-91.
- MA Taotao,LI Ke,ZHU Shaohua,et al. Discussion about information and communication technology of smart grid [J]. Electric Power Automation Equipment,2010,30(5):87-91.
- [13] 徐振宇,杨奇逊,刘万顺,等. 一种序分量高压线路保护选相元件[J]. 中国电机工程学报,1997,17(3):214-215.
- XU Zhenyu,YANG Qixun,LIU Wanshun,et al. A sequence fault phase selector for transmission line protective relay [J]. Proceedings of the CSEE,1997,17(3):214-215.
- [14] 胡婷,游大海,金明亮. 一种电流突变量选相元件三相短路判据的探讨[J]. 电力自动化设备,2006,26(10):107-109.
- HU Ting,YOU Dahai,JIN Mingliang. Discussion of three-phase short-circuit criterion of phase selection relay based on delta variable element of phase current differential[J]. Electric Power Automation Equipment,2006,26(10):107-109.
- [15] 马静,王希,王增平. 一种基于电流突变量的故障选相新方法[J]. 中国电机工程学报,2012,32(19):117-124.
- MA Jing,WANG Xi,WANG Zengping. A new fault phase identification method based on phase current difference [J]. Proceedings of the CSEE,2012 32(19):117-124.
- [16] 刘凯,索南加乐. 基于故障去路电流序分量相位关系的选相元件[J]. 电力自动化设备,2013,33(3):77-83.
- LIU Kai,SUONAN Jiale. Phase selection element based on phase relationship between sequence components of faulty branch current[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(3):77-83.

作者简介:



黄少锋

黄少锋(1958—),男,福建福州人,教授,博士研究生导师,主要从事电力系统保护与控制的研究(E-mail:huangsf@sf-auto.com);

李欧(1989—),女,四川内江人,硕士研究生,主要从事电力系统继电保护的研 究(E-mail:liou2008101@126.com)。

Wire-break blocking for PT connected arbitrarily with open delta winding

HUANG Shaofeng,LI Ou,FEI Bin,SHEN Hongming

(State Key Laboratory of New Energy Power System,North China Electric Power University,Beijing 102206,China)

Abstract: The existing measures of PT(Potential Transformer) wire-break blocking do not consider its conditions during system faults,aiming at which,it is proposed to identify the wire-break conditions of the PT connected arbitrarily with open delta winding during the short-circuit fault according to the relationship between the open delta voltage and the zero-sequence voltage in the background of smart grid information sharing. Solutions to the blind zone of the proposed method are proposed. Analytical results indicate that, combined with the phase selecting element,the proposed method effectively blocks the corresponding relay protections when PT wire-break occurs during line fault. After the grounding fault of system without PT wire-break,the fault report can be used to recognize the winding polarity for simplifying the identification of PT wire-break conditions later on.

Key words: potential transformer; wire-break; open delta voltage; fault; blocking; phase selecting; relay protection