

基于比率制动特性的电压互感器中线断线判别方法

陈俊,郭自刚,张琦雪,严伟,沈全荣

(南京南瑞继保电气有限公司,江苏 南京 211102)

摘要: 分析了电压互感器(TV)中线断线时的电气特征,即三相电压中将产生 3 次谐波分量,且大小相等、方向相同。试验结果表明,TV 中线断线时,相电压和自产零序电压中的 3 次谐波幅值随 TV 原边输入电压增大而增大。在理论分析和模拟试验的基础上,提出了一种基于比率制动特性的 TV 中线断线判别新方法,在没有保护元件启动的情况下,当 TV 自产零序电压 3 次谐波幅值与三相电压最大基波幅值的比值大于比率定值时,判为 TV 中线断线,延时动作于报警。理论分析和现场数据表明:该方法能够真实反映 TV 中线断线的电气特征,可以准确判断 TV 中线断线,并且具有运算量小、易于程序实现等特点。

关键词: 电压互感器; 中线断线; 3 次谐波电压; 比率制动

中图分类号: TM 711

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2011)04-0100-04

0 引言

电压互感器(TV)断线是电力系统中较为常见的故障,TV 一次断线、TV 二次断线等可能直接导致保护不正确动作的故障形式引起了广泛关注,针对这些故障形式的判别方法层出不穷^[1-10],并且已取得了比较好的应用效果,但对于 TV 中线断线的危害则认识不足,相关的对策研究则相对较少。

近年来,由于 TV 中线断线导致保护不正确动作的事故屡有发生^[11-14],逐渐引起了同行们的关注。

本文在对 TV 中线断线的电气特征进行深入研究的基础上,提出一种基于比率制动特性的 TV 中线断线判别新方法,并且利用现场数据验证了该方法的有效性。

1 TV 中线断线时的电气特征

保护装置内小 TV 二次负载很大,可看作空载状态,额定运行时小 TV 工作在磁通饱和状态,由于小 TV 铁心材料特性的非线性,励磁电流含有 3 次谐波才能产生正弦的磁通和电动势^[15]。

图 1 为 TV 二次侧与保护装置的小 TV 连接示意图。图中 U1a、U1b、U1c、U1n 为 TV 二次侧的电压输出端,U2a、U2b、U2c、U2n 为保护装置内小 TV 的

二次电压输出端。

TV 中线连接良好时,保护装置内小 TV 的励磁电流呈现尖顶波形,励磁电流可分解为基波和 3、5、7 等一系列奇次谐波,TV 的中线可为 3 次谐波提供流通回路,保护装置检测到的相电压波形呈现正弦波状态,几乎没有 3 次谐波分量;而当 TV 中线断线时,小 TV 励磁电流中的 3 次谐波无法流通,磁通将呈现尖顶波状态,导致保护装置检测到的三相电压中产生大量谐波分量,其中以 3 次谐波分量为主,并且三相电压中 3 次谐波的方向相同,自产零序电压的 3 次谐波是相电压中 3 次谐波的 3 倍。

为了研究 TV 中线断线情况下 3 次谐波电压随 TV 原边电压大小变化的规律,在实验室进行了 TV 中线断线模拟试验。由于 3 次谐波是由保护装置内小 TV 铁心非线性引起的,可直接通过 PW466 型继电保护试验仪给保护装置输入三相对称工频交流电压,在不同输入电压下,人为断开试验仪电压输出中线,以此来模拟 TV 中线断线,保护装置显示的相关电压测量值如表 1 所示。

表 1 保护装置小 TV 自产零序 3 次谐波值

Tab.1 Third harmonic of zero-sequence voltage generated by protection PT

$\frac{U_p}{U_N} / \%$	U_2 / V	U_2' / V	U_{30} / V	$\frac{U_{30}}{U_{\max}} / \%$
100	57.74	16.43	49.32	85.4
90	51.97	13.16	39.51	76.0
80	46.16	10.35	31.02	67.2
70	40.43	7.92	23.72	58.7
60	34.62	5.88	17.71	51.2
50	28.81	4.23	12.69	44.1
40	23.04	2.89	8.67	37.6
30	17.27	1.86	5.59	32.4
20	11.52	1.09	3.27	28.4
10	5.77	0.53	1.58	27.4

注: U_p 为原边电压, U_2 为二次相电压, U_2' 为二次相电压 3 次谐波, U_{30} 为自产零序 3 次谐波, $U_{\max}$ 为三相电压基波幅值最大值。

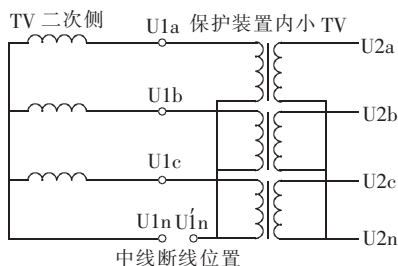


图 1 TV 中线断线示意图

Fig.1 PT neutral line break

可见,TV 中线断线时,相电压及自产零序电压中的 3 次谐波随原边输入电压增大而增大,且原边电压越大,3 次谐波与相电压基波幅值的比值越大。3 次谐波电压的大小与保护装置内小 TV 的特性有关。

2 TV 中线断线判别新方法

根据 TV 中线断线时的电气特征,可以考虑采用 TV 每相电压中的 3 次谐波与基波幅值的比值来判别中线断线,但由于相电压中的 3 次谐波远小于自产零序电压中的 3 次谐波,并且需要同时计算三相电压中的基波幅值和 3 次谐波幅值,不但灵敏度低,而且运算量偏大,本文不采用该方法。

本文新方法研究的原则是能够灵敏检测 TV 中线断线,并且要求算法和判据运算量小,便于程序实现。基于以上原则,提出以下 TV 中线断线新判据:

a. 没有任何保护元件启动;

b. 三相电压基波最大值超过 12 V,且 TV 自产零序电压中的 3 次谐波幅值与三相电压基波最大值的比值大于比率制动系数整定值。

同时满足以上 2 个条件,判为 TV 中线断线,延时动作于报警。报警延时一般整定为 20~30 s。

以上判据中,TV 三相电压基波幅值及自产零序电压中的 3 次谐波幅值计算均采用以下离散周期信号全周傅氏算法:

$$\begin{cases} a_m(k) = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \left[x(k) \cos\left(\frac{2\pi k}{N}m\right) \right] \\ b_m(k) = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \left[x(k) \sin\left(\frac{2\pi k}{N}m\right) \right] \\ X_m(k) = \sqrt{\frac{a_m(k)^2 + b_m(k)^2}{2}} \end{cases} \quad (1)$$

其中, N 为工频每周期采样点数, m 为谐波次数, $x(k)$ 为离散采样值, $a_m(k)$ 和 $b_m(k)$ 分别为各次谐波的余弦和正弦分量系数, $X_m(k)$ 为各次谐波的有效值。

带比率制动特性的 TV 中线断线判别公式如下:

$$\begin{cases} 3U_{0,3\omega} > k_{\text{set}} U_{\text{max}} \\ U_{\text{max}} \geq 12 \text{ V} \end{cases} \quad (2)$$

其中, $3U_{0,3\omega}$ 为 TV 自产零序电压 3 次谐波幅值; U_{max} 为三相电压基波幅值最大值; k_{set} 为比率制动系数,一般整定为 0.1~0.5。

上式对应的比率制动特性如图 2 所示。

TV 三相电压基波最大值超过 12 V 时,才进行

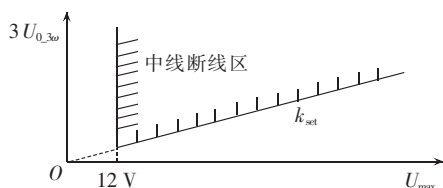


图 2 比率制动特性

Fig.2 Characteristic of percentage restraint

中线断线判别,可防止 TV 无压情况下,保护装置由于零漂等因素导致的误判。

当系统发生接地故障时,TV 自产零序电压中可能会产生一定量的 3 次谐波(比如发电机发生定子接地故障时,机端 TV 自产零序电压中的 3 次谐波分量可能增大),此时,一方面 3 次谐波分量幅值不大,且接地保护会启动,不会导致误判中线断线;另一方面,发生接地故障时,故障相电压会下降,而非故障相电压会上升,由于式(2)取三相电压最大基波幅值构成制动量,制动门槛在此过程中会自动抬高,也可起到防误判的作用。

当保护装置判断出 TV 中线断线时,应闭锁可能因此而误动的保护功能,并及时发出报警信号。

3 现场数据验证

3.1 TV 中线断线数据分析

云南某电厂主变高压侧 TV 中线断线时,保护装置检测到的三相电压波形及基波幅值如图 3 所示,此时,三相电压波形严重畸变,含有丰富的 3 次谐波分量,每相电压中的 3 次谐波幅值达 27.8 V 左右,且方向相同。

由于全周傅氏算法计算数据窗为 20 ms,图 3~8 中前 20 ms 数据没有实际意义,为便于处理,直接置为 0。

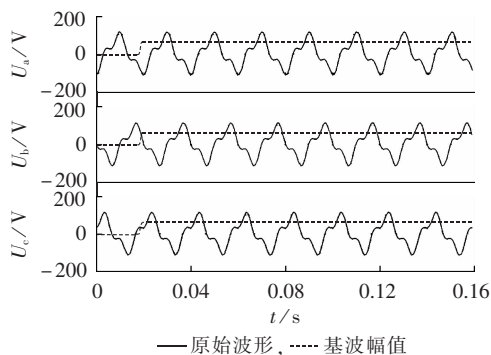


图 3 TV 中线断线时的三相电压波形

Fig.3 Three-phase voltages of PT with broken neutral line

主变高压侧 TV 中线断线时,TV 自产零序电压波形及 3 次谐波幅值如图 4 所示,此时,自产零序电压 3 次谐波幅值可达 83.5 V 左右,约为相电压中 3 次谐波的 3 倍,与理论分析一致。

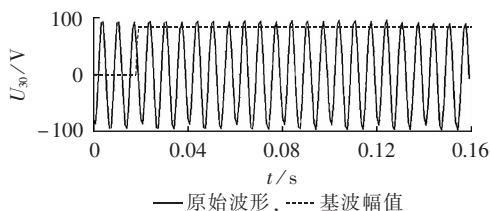


图 4 TV 中线断线时的自产零序电压波形

Fig.4 Generated zero-sequence voltage of PT with broken neutral line

主变高压侧 TV 中线断线时,TV 自产零序电压 3 次谐波幅值与三相电压基波幅值最大值的比值如图 5 所示。

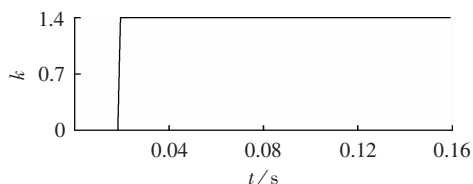


图 5 TV 中线断线时自产零序电压 3 次谐波与三相电压最大值的比值

Fig.5 Ratio of zero-sequence voltage third harmonic to maximal phase voltage when PT neutral line is broken

可见,TV 中线断线时,自产零序电压 3 次谐波幅值与三相电压基波幅值最大值的比值可达 1.39 左右。

3.2 TV 正常时的数据分析

现场记录的 TV 正常时的三相电压波形及基波幅值如图 6 所示。

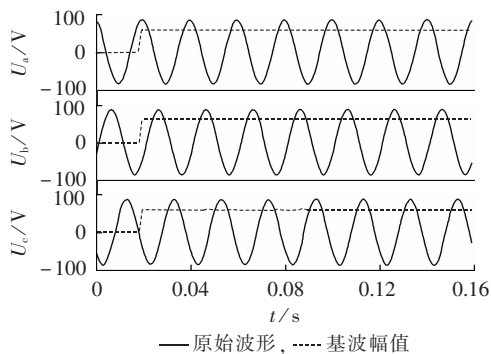


图 6 TV 正常时的三相电压波形

Fig.6 Voltages of normal PT

TV 正常时,自产零序电压波形及 3 次谐波幅值如图 7 所示,此时自产零序电压 3 次谐波幅值只有 0.7 V 左右。

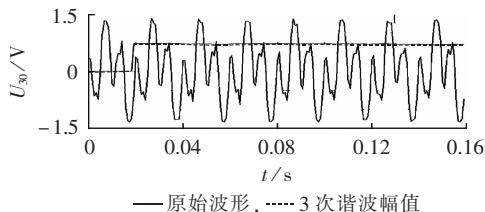


图 7 TV 正常时的自产零序电压波形

Fig.7 Generated zero-sequence voltage of normal PT

TV 正常时,TV 自产零序电压 3 次谐波幅值与三相电压基波幅值最大值的比值如图 8 所示。

TV 正常时,自产零序电压 3 次谐波幅值与三相电压基波幅值最大值的比值在 0.012 左右。

可见,TV 正常运行时,自产零序电压 3 次谐波幅值与三相电压基波幅值最大值的比值(0.012)远小于 TV 中线断线时的比值(1.39),两者之间差距明显,

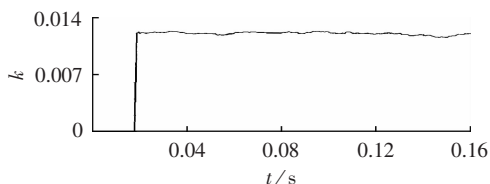


图 8 TV 正常时自产零序电压 3 次谐波与三相电压最大值的比值

Fig.8 Ratio of zero-sequence voltage third harmonic to maximal phase voltage when PT is normal

因此,新判据可以取得比较高的灵敏度。

由于 3 次谐波电压的大小与保护装置内小 TV 的特性有关,现场应用时,针对不同厂家的保护装置,比率制动系数应适当进行调整,合理整定比率制动系数,即可准确识别 TV 中线断线。

4 结论

本文在对 TV 中线断线时的电气特征进行深入研究的基础上,提出了一种基于比率制动特性的 TV 中线断线判别新方法,并用现场数据进行了验证。

与以往 TV 中线断线判别方法相比,新方法具有以下特点:

- a. 判别门槛随着相电压大小自适应调整,符合 TV 中线断线时的电气特征;
- b. 系统发生接地故障时,由于非故障相电压升高,判据的制动门槛会自动抬高,判据的防误判能力强;
- c. 算法和判据的运算量小,易于程序实现。

目前,该方法已在 PCS-985 系列发电机变压器组保护装置中得到应用,应用效果良好。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 毕大强,王祥珩,王维俭. 发电机中性点电压互感器断线的检测方法[J]. 继电器,2004,32(16):32-33.
BI Daqiang,WANG Xiangheng,WANG Weijian. Detecting the PT secondary circuit open at the neutral of generator[J]. Relay, 2004,32(16):32-33.
- [3] 张悻宁,索南加乐,徐丙垠,等. 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,SUONAN Jiale,XU Bingyin,et al. Detection of PT breaking based on the theory of line voltage amplitude comparison[J]. Relay,2005,33(12):22-26.
- [4] 张茂强. 提高大型汽轮发电机匝间保护动作可靠性的探讨[J]. 电力自动化设备,2004,24(2):95-98.
ZHANG Maoqiang. Discussion on enhancing reliability of stator winding's inter-turn S/C protection for large thermal generator [J]. Electric Power Automation Equipment,2004,24(2):95-98.
- [5] 李鹏. 浅析 TV 断线对发电机保护的影响及对策[C]//第十届全国保护和学术研讨会论文集. 北京:中国电机工程学会, 2005:233-239.
LI Peng. Impact of TV failure to generator protections and the

- solutions[C]//The 10th National Conference on Protection and Control. Beijing,China;Chinese Society for Electrical Engineering, 2005:233-239.
- [6] 杜景远,崔艳. 浅议 PT 断线、系统接地、母线失压的判据[J]. 继电器,2002,30(1):60-61.
- DU Jingyuan,CUI Yan. Criteria of PT breaking,system grounding and busbar voltage losing[J]. Relay,2002,30(1):60-61.
- [7] 吴红斌,丁明,宋金川,等. 线路保护中 PT 断线判据的分析和改进[J]. 继电器,2004,32(3):63-65.
- WU Hongbin,DING Ming,SONG Jinchuan,et al. Analysis and improvement of PT breaking criterion in line protection[J]. Relay,2004,32(3):63-65.
- [8] 高仕斌. 基于变电所自动化系统的互感器断线检测[J]. 铁道学报,2002,24(2):39-43.
- GAO Shibin. Break line fault detection of TV and TA based on integrated automatic system in traction substation[J]. Journal of the China Railway Society,2002,24(2):39-43.
- [9] 韩正庆,刘淑萍,高仕斌,等. 一种电压互感器断线新判据[J]. 中国铁道科学,2006,27(5):110-113.
- HAN Zhengqing,LIU Shuping,GAO Shibin,et al. A novel method to detect the break line of voltage transformer[J]. China Railway Science,2006,27(5):110-113.
- [10] 吴龙,刘为群,沈全荣. 发电机 PT 断线判断方法:中国,20051-0123095[P]. 2008-01-23.
- [11] 陈水耀,姚仲焕. 电压回路中性线对零序方向保护的影响分析和防范措施[J]. 电力系统保护与控制,2008,36(14):80-82.
- CHEN Shuiyao,YAO Zhonghuan. Analysis and measures of influence of the common connection line on zero-sequence direction protection[J]. Power System Protection and Control,2008,36(14):80-82.
- [12] 吴笃贵,赵斌,郭宝甫,等. PT 二次误接线导致的定子接地保护拒动分析[J]. 继电器,2006,34(5):17-20.
- WU Dugui,ZHAO Bin,GUO Baofu,et al. Miss trip analysis of stator winding grounding fault due to false PT secondary connection[J]. Relay,2006,34(5):17-20.
- [13] 徐振宇,赵志宏. 线路保护装置利用三次谐波检测中线断线的新方法[C]//第十一届全国保护和控制学术研讨会论文集. 南京:中国电机工程学会,2007:38-40.
- XU Zhenyu,ZHAO Zhihong. New detection method for TV neutral line failure based on third harmonic[C]//The 11th National Conference on Protection and Control. Nanjing,China:Chinese Society for Electrical Engineering,2007:38-40.
- [14] 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):73-76,81.
- LIU Dongchao,LI Tiezhong,ZHANG Zhe,et al. Research on PT neutral line failure[J]. Power System Protection and Control,2010,38(5):73-76,81.
- [15] 李发海,朱东起. 电机学[M]. 北京:科学出版社,2007:17.

(编辑:李玲)

作者简介:

陈俊(1978-),男,江苏姜堰人,工程师,硕士,从事电气主设备微机保护的研究和开发工作(E-mail:chenj@nari-relays.com);

郭自刚(1979-),男,湖北随州人,工程师,硕士,从事电气主设备微机保护的研究和开发工作;

张琦雪(1974-),男,江苏沭阳人,高级工程师,博士,从事电气主设备微机保护的研究和开发工作;

严伟(1975-),男,湖南长沙人,高级工程师,硕士,从事电气主设备微机保护的研究、开发和管理工作的;

沈全荣(1965-),男,江苏吴江人,研究员级高级工程师,硕士,从事电力系统继电保护的研究、开发和管理工作的。

Identification of PT neutral line break based on percentage restraint

CHEN Jun, GUO Zigang, ZHANG Qixue, YAN Wei, SHEN Quanrong
(NARI-Relays Electric Co., Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: The electrical characteristic of PT with broken neutral line is analyzed; the third harmonics of three-phase voltages are enhanced, with same amplitude and direction. Test shows that, when PT neutral line is broken, the third harmonics of phase voltage and generated zero-sequence voltage increase along with the increase of input voltage. Therefore, it is proposed to identify the PT neutral line break according to the ratio of zero-sequence voltage third harmonic to maximal phase voltage. Theoretical analysis and site data indicate that, the proposed method detects PT neutral line break accurately, with small computation and suitable for programming.

Key words: PT; neutral line break; third harmonic voltage; percentage restraint