

CVT对零序(负序)方向保护影响的研究

王辉,何奔腾,李一泉

(浙江大学电气工程学院,浙江 杭州 310027)

摘要: 通常认为, CVT暂态过程不会引起方向保护的误判。通过仿真计算,发现在零序(负序)电压很小时,零序方向元件和负序方向元件是有可能出现误判的,这个现象应当引起重视。同时还发现,零序方向元件和负序方向元件不可能同时出现误判的情况。根据这个特征,提出了零序和负序方向保护的改进措施,以提高方向保护的安全性。

关键词: 电容式电压互感器(CVT); 零序(负序)方向保护; 安全性; 改进措施

中图分类号: TM77 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)09-0001-03

0 引言

目前在高压及超高压电力系统中,考虑到经济及技术的原因,国内外广泛采用电容式电压互感器 CVT(Capacitor Voltage Transformer)为继电保护提供电压测量信号。CVT与传统的电磁式电压互感器相比,具有造价低廉且可兼作通讯设备、绝缘性能好、不会与系统发生铁磁谐振等优点,缺点是暂态性能较差。

众所周知, CVT暂态过程会引起距离保护的超越,对此问题国内外已经展开了大量的研究。对于方向保护,由于其动作特性的裕度大,通常认为 CVT的暂态过程不会引起方向的误判,笔者也未见这方面的研究报道。本文对 CVT暂态过程对二次零序电压和负序电压的影响进行了大量的仿真计算,发现在零序(负序)电压很小时,零序(负序)电压的相位误差很大,有可能引起零序(负序)方向元件的误判,应当引起重视。

1 CVT暂态误差及其影响简介

CVT的简化电路如图 1所示。

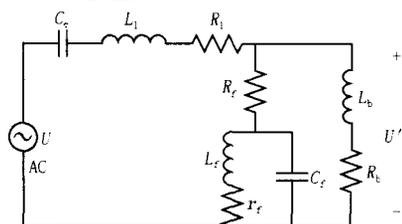


图 1 CVT的等值电路

Fig 1 Equivalent circuit of CVT

CVT由分压电容、补偿电抗器、中间电抗器、阻

尼器等部分组成。图中 C_e 为等效分压电容; L_1 为补偿电感和中间变压器的漏感之和, R_1 是相应的电阻; R_r 、 C_f 、 L_r 和 r_f 为谐振型阻尼器的参数; L_b 和 R_b 则是负载电感和电阻。

由于 CVT存在多个电感、电容等储能元件,当一次系统发生故障时,这些储能元件存在暂态过程,使得二次电压不能迅速跟踪上一次电压,从而产生暂态误差。设 u_1 、 u_2 分别为一次电压和二次测量电压,将它们都归算到一次侧, CVT的暂态误差为

$$e = u_1 - u_2 \quad (1)$$

在数字式继电保护中,通常需要经过算法从电压瞬时值中计算出电压幅值或(和)相位来进行故障判别。目前保护装置大多采用式(2)的全波傅氏算法和式(3)的半波傅氏算法。其中 N 为每周波采样点数, $\Delta t = \frac{2\pi}{N\omega}$, 相量为 $X = X_r + jX_i$ 。

$$X_r = \frac{2}{N} \sum_{k=-N+1}^0 x(k) \sin(k) \quad (2)$$

$$X_i = \frac{2}{N} \sum_{k=-N+1}^0 x(k) \cos(k)$$

$$X_r = \frac{4}{N} \sum_{k=-\frac{N}{2}}^0 x(k) \sin(k)$$

$$X_i = \frac{4}{N} \sum_{k=-\frac{N}{2}}^0 x(k) \cos(k) \quad (3)$$

式(2)和式(3)中, $\sin(k)$ 、 $\cos(k)$ 都是常数,因此算法满足叠加性,不难得到相量误差为 $E = U_1 - U_2$ 。其中 U_1 和 U_2 分别是 u_1 和 u_2 经过全波傅氏或半波傅氏算法计算后的相量。

令 $\alpha = \left| \frac{E}{U} \right|$, $\beta = \arg\left(\frac{E}{U}\right)$ 。显然 α 、 β 分别是

CVT引起的幅值相对误差和相位误差。由文献 [1] 知, ϵ 的大小与测量电压的残压 U 成反比。故障点离测量点越近, U 越小, ϵ 越大; 反之, ϵ 越小。对于距离保护, 若线路较长, 正向区外故障时, U 残压很高, 测量误差很小, 保护不会超越, 所以只有在短线路中才会出现超越的问题。至于出口附近故障的方向判别, 由于实用的距离继电器都是采用非故障相电压或记忆电压极化, 受 ϵ 的影响很小, 所以不会误动。

2 零序 (负序) 电压的暂态误差

零序电压和负序电压是由三相电压形成的, 它们的误差也是三相电压误差的综合。设 ϵ_0 、 ϵ_1 、 ϵ_2 分别为零序电压和负序电压在 CVT 引起的幅值误差和相位误差, 不难得

$$\epsilon_0 = \left| \frac{E_a + E_b + E_c}{3U_0} \right|$$

$$\phi_0 = \arg\left(\frac{E_a + E_b + E_c}{3U_0}\right) \quad (4)$$

$$\epsilon_2 = \left| \frac{E_a + aE_b + a^2E_c}{3U_2} \right|$$

$$\phi_2 = \arg\left(\frac{E_a + aE_b + a^2E_c}{3U_2}\right) \quad (5)$$

其中: E_a 、 E_b 、 E_c 为三个相电压的相量误差, $a = e^{120^\circ}$ 。

由于其误差由三相电压综合形成, 它的暂态误差特征与相电压的误差特征是不一样的, 有必要进一步研究。下面结合具体仿真算例来说明这个问题。

算法采用半波傅氏算法。系统接线图如图 2 所示, 电压等级 500 kV, 单回线线路长度 100 km, 线路参数为 $R_0 = 0.07165 \Omega/\text{km}$, $R_1 = 0.01431 \Omega/\text{km}$, $L_0 = 2.608 \text{mH}/\text{km}$, $L_1 = 0.8694 \text{mH}/\text{km}$, $C_1 = 0.0137 \mu\text{F}/\text{km}$, $C_0 = 0.008573 \mu\text{F}/\text{km}$ 。CVT 参数见参考文献 [2]。

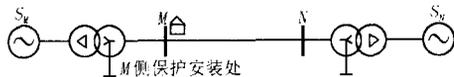


图 2 系统模型

Fig 2 System model

保护装设在 M 点。图 3 为线路出口 BC 两相接地故障时的计算结果, 故障角为 18° 。图 3(a) 为三相电压波形, 图 3(b) 为零序电压和负序电压的幅值误差 ϵ_0 、 ϵ_2 , 图 3(c) 为零序电压和负序电压的相位误差 ϕ_0 、 ϕ_2 。零序和负序电压的稳态值为 $3U_0 = 3U_2 =$

$0.05U_N$ (U_N 为线路额定电压)。从这些图中可知, 在出口故障时, ϵ_0 、 ϵ_2 都非常小, ϕ_0 只有在故障开始时达到了 0.25 , 随即下降至很小。

图 4 为线路末端故障的情况。故障条件以及各图的意义与图 3 相同。零序和负序电压的稳态值为 $3U_0 = 3U_2 = 0.05U_N$ 。由图 4 可见, 此时零序和负序电压的幅值误差和相位误差都相当大。尤其是零序电压的相位误差 ϕ_0 , 误差超过 90° 的时间超过了 7ms 。对于零序方向继电器, 就意味着有 7ms 左右的时间会出现方向的误判。但此时负序电压的相位误差并不大, 负序方向继电器不会误判。

负序方向继电器也会出现误判的情况, 如图 5 所示。图 5 的故障条件与图 4 相同, 但故障角为 72° 。由图 5 可见, 负序电压相位误差 ϕ_2 超过 90° 的时间达到 5ms 。但此时零序电压的 ϕ_0 并不大, 零序方向继电器不会误判。

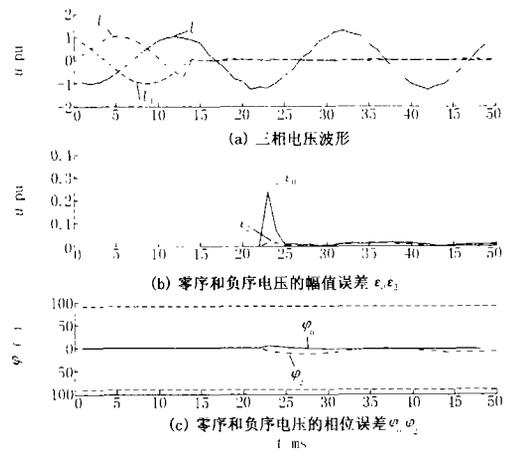


图 3 线路始端故障, 故障角 18°

Fig 3 Fault at the beginning of the line with a fault angle of 18°

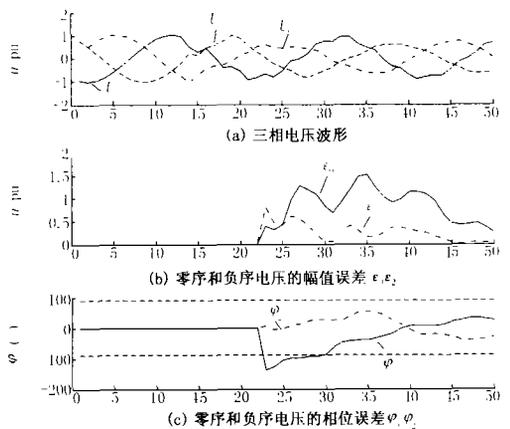


图 4 线路末端故障, 故障角 18°

Fig 4 Fault at the end of the line with a fault angle of 18°

由上面的算例,可以初步得到以下的结论:

1) 与相电压的情况相反,故障点越接近测量点,零序(负序)电压的误差越小。反之亦然。

2) 零序(负序)电压比较大时,方向保护不会误动;零序(负序)电压小时,零序(负序)方向保护有可能会误动。

3) 零序方向保护与负序方向保护不会同时误动。

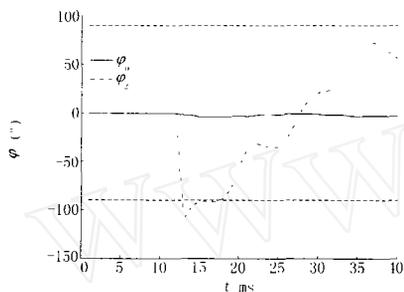


图5 线路末端故障,故障角 72°

Fig 5 Fault at the end of the line with a fault angle of 72°

3 仿真计算

为了验证上面的结论,对图2的系统进行了详细的EMTP仿真计算。仿真时三相电压经过截止频率为300 Hz的数字低通滤波器前置滤波。采样频率为1 000 Hz。算法分别采用全波傅氏和半波傅氏。系统和故障条件尽可能覆盖各种情况,参数取值如表1所示。电源采用理想电源加系统阻抗的模型,在短路容量80 000~1 000 MVA范围内,分为17种双端电源系统和6种单端电源系统。

表1 系统和故障参数

Tab 1 Parameters of system and faults	
线路长度/km	30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420
短路角	$0^\circ; 18^\circ; 36^\circ; 54^\circ; 72^\circ; 90^\circ;$ $108^\circ; 126^\circ; 144^\circ; 162^\circ$
两端电源功角	$0^\circ; 30^\circ; 60^\circ; 90^\circ; 120^\circ$
故障类型	A相接地故障, BC相间短路故障, BC两相接地故障

根据上面的系统和故障参数,共进行了48 300例的仿真计算。当零序(负序)电压相位误差超过 90° 时判定为零序(负序)方向元件误动。计算结果表明,无论是采用全波傅氏算法还是半波傅氏算法,零序方向元件和负序方向元件都出现了误动的情况,但未出现两个方向元件同时误动的算例,说明上面的结论是正确的。采用全波傅氏算法时,当零序电压标幺值(相对于线路额定电压)超过0.06时,

方向元件不会出现误动。采用半波傅氏算法时,不误动的最小电压标幺值为0.09。相应地,对于负序方向元件,全波算法为0.04,半波算法为0.08。

4 改进措施

为了提高零序方向元件和负序方向元件的安全性,本文提出了一种改进的措施。图6所示的是改进后的零序方向元件动作逻辑,负序方向元件的动作逻辑与此类似。图中, U_{QD0} 为电压门槛,按照零序方向元件不误动的最小电压整定。该保护主要包含两部分,一部分遵循零、负序元件不会同时误判的原则,将零、负序元件相“与”;另一部分为带门槛的零序方向元件,以防止零序方向元件单独运行时受CVT暂态影响而可能引起的误判,最后将两者综合,经“或”门输出,得到完整的保护动作逻辑。

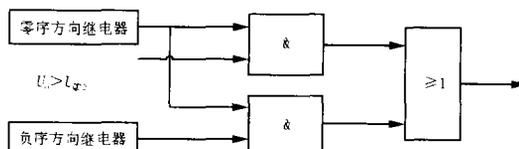


图6 零序方向元件保护逻辑图

Fig 6 Logic diagram of zero-sequence direction relay

5 结论

1) 受CVT暂态过程的影响,在零序(负序)电压很小时,零序(负序)方向元件有可能出现误动,应该引起重视。

2) 零序方向元件和负序方向元件不会同时误动,故在零序(负序)电压很小时,可以采用零序方向和负序方向构成“与”门输出的方法来防止误动。

参考文献:

- [1] 梅德冬,王文雄,何奔腾,等. 电容式电压互感器暂态误差的研究[J]. 继电器, 2003, 31(6): 19-22
MEI De-dong, WANG Wen-xiong, HE Ben-teng, et al. Research on Transient Noise of CVT[J]. Relay, 2003, 31(6): 19-22
- [2] 李一泉,何奔腾,黄瀛. 基于CVT暂态误差估计的自适应距离保护[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(10): 72-76
LI Yi-quan, HE Ben-teng, HUANG Ying. An Adaptive Distance Relay Based on Transient Error Estimation of CVT[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(10): 72-76
- [3] 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.

(下转第12页 continued on page 12)

国电力出版社, 2005.

ZHU Sheng-shi The Theory and Technology of Relay Protection in Grid System [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2005.

收稿日期: 2005-08-16; 修回日期: 2006-02-17

作者简介:

余锐(1977-),男,硕士,从事电力系统保护产品研发; E-mail: yurui@sf-auta.com

智全中(1969-),男,高级工程师,长期从事继电保护的运行和管理工作;

宋小舟(1969-),男,高级工程师,从事电力系统保护产品研发。

Research and application of bus bar charge-protection

YU Rui¹, ZHI Quan-zhong², SONG Xiao-zhou¹

(1. Beijing Sifang Automation Co., Ltd, Beijing 100085, China; 2. Luohe Power Supply Company, Luohe 462000, China)

Abstract: The charge-protection in bus-bar protection is applied before charge-operation. It can break bus-tie switch and detach the fault rapidly for saving the sanity bus-bar. In high-middle voltage power system, the current setting of the charge-protection always bases on the fault current in the minimal operation mode, and the break should be snapped action. Through a lot of trials, the paper proves that it is difficult to be harmonious for the accuracy and rapidity of charge-protection's response. Through detailed analysis, on the premise of ensuring the bus-bar protection's function, the paper advises that the charge-protection could be abolished to simplify protection.

Key words: bus-bar protection; charge-protection; operation mode

(上接第 3 页 continued from page 3)

ZHU Sheng-shi Principles and Technologies of High Voltage Network Protection Relay[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1995.

[4] 许庆强, 索南加乐, 李瑞生, 等. 正序故障分量方向元件误动的原因分析及其对策 [J]. 继电器, 2005, 33(9): 12-16

XU Qing-qiang, SUONAN Jia-le, LI Rui-sheng, et al. Maloperation Analysis of Positive Sequence Fault Components Based Directional Relay and Its Countermeasure [J]. Relay, 2005, 33(9): 12-16

[5] HOU Da-qing, Roberts J. Capacitive Voltage Transfom-

er: Transient Overreach Concerns and Solutions for Distance Relaying[A]. Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering 1996. 119-125.

收稿日期: 2005-11-08; 修回日期: 2006-01-12

作者简介:

王辉(1981-),男,硕士研究生,主要从事电力系统继电保护的研究; E-mail: shawmwh@163.com

何奔腾(1959-),男,教授,博士生导师,目前主要从事电力系统继电保护及控制等方面的研究;

李一泉(1979-),男,博士研究生,主要从事电力系统继电保护的研究。

Research of CVT's influence on zero-sequence (negative-sequence) direction protection

WANG Hui, HE Ben-teng, LI Yi-quan
(Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: It is well-known the transients of CVT won't result in the maloperation of direction protection. However, with large amounts of simulation, this paper finds out that when there is little zero-sequence (negative-sequence) voltage, the zero-sequence direction relay or negative-sequence direction relay has the possibility of maloperation which should be paid attention to. Besides, zero-sequence and negative-sequence direction relay won't maloperate at the same time under the same condition. Based on all of the above, a new method on the zero-sequence and negative-sequence direction relay is put forward to improve the security of direction protection.

Key words: capacitor voltage transformer(CVT); zero-sequence (negative-sequence) direction protection; security; improvement measures