

电容式电压互感器的暂态特性及其对 微机继电保护装置影响的研究

姚建光, 邹逸云, 冯伟, 王锁扣

(江苏省泰州市供电公司, 江苏 泰州 225300)

摘要: 电容式电压互感器(CVT)中包含有电容、电感等储能元件,其二次输出电压不能立即响应一次电压的变化。影响 CVT 暂态过程的因素众多,笔者重点分析了短路相角对其暂态过程的影响。运用 MATLAB 中的电气系统模块库 PSB 建立了 CVT 电磁暂态过程的仿真模型。仿真结果表明不同的短路相角对 CVT 的暂态过程影响有很大的差别,并给出了在不同短路角情况下其暂态响应的变化规律。同时针对不同的保护算法,分析了暂态过程对其算法准确度的影响,提出了相应的解决办法。

关键词: 电容式电压互感器; 暂态特性; 继电保护装置; 短路相角

中图分类号: TM451

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2009)04-0034-03

Research on Transient Characteristics of CVT and Corresponding Impacts on Microchip Relay Protection

YAO Jian-guang, ZOU Yi-yun, FENG Wei, WANG Suo-kou

(Municipal Power Company of Taizhou in Jiangsu Province, Taizhou 225300, China)

Abstract: Capacitor voltage transformer consists of many capacitors and inductors, its secondary voltage output can not response immediately to the primary voltage changes. There exist many factors that influence the process of transient response of CVT. This paper lays emphasis on the impact of short circuit voltage phase on the transient process of CVT. Power system block (PSB) in MATLAB Simulink is adopted to establish a simulation model for analyzing electromagnetic transient process. The simulation analysis indicates that different short circuit voltage phase value exerts greatly varied influence on transient process of CVT. A group of transient response curves versus short circuit voltage phase is provided. Electromagnetic transient influence on precision of different relay protection algorithms is analyzed, and solutions to the influence are suggested.

Key words: capacitor voltage transformer(CVT); transient response characteristic; relay protection; short circuit phase

0 引言

目前,电网中运行的电压互感器以电磁式电压互感器和电容式电压互感器(CVT)为主。其中在 110~500 kV 高压电网中运行的电压互感器基本上都采用 CVT,而电磁式电压互感器主要用于 110 kV 以下的中低压配电网^[1,2]。

CVT 以其优良的性价比和可靠性将会在电网中得到更广泛的应用。由于 CVT 中包含了电容和电感元件,在一次侧电压发生突变的情况下,二次输出电压不能立即响应,出现了一个过渡过程。在这个过程中会产生大量的谐波,从而使得二次输出电压发生畸变,不能正确地反映一次电压的变化,引起继电保护装置的误动作。因此正确分析 CVT 的暂态过程对

继电保护的影响,对提高继电保护装置的正确动作以及整个电力网络的安全稳定运行有着重大的意义。

1 CVT 的结构和原理

CVT 的原理结构见图 1,其中 C_1 、 C_2 为分压电容,通过电容分压后从电容 C_2 两端引出的电压降到了 5~20 kV,作为中间变压器的一次输入电压。中间变压器浸泡在一个装有绝缘油的密闭容器中,一般有两个以上的二次电压输出供保护装置和测量装置使用。在额定频率下,补偿电抗器的电抗与中间变压器漏抗之和与等值容抗串联谐振,以消除容抗压降随二次负荷变化引起的电压变化,可使中间变压器的输入电压稳定。由于中间变压器的励磁回路是一个非线性电感,在某种情况下可能产生铁磁谐振^[3,4],所以采用一个阻尼装置对铁磁谐振进行抑

收稿日期:2008-09-22; 修回日期:2008-12-25

作者简介:姚建光(1982),男,变电运行高级工,助理工程师,从事变电运行管理。

制,见图1。

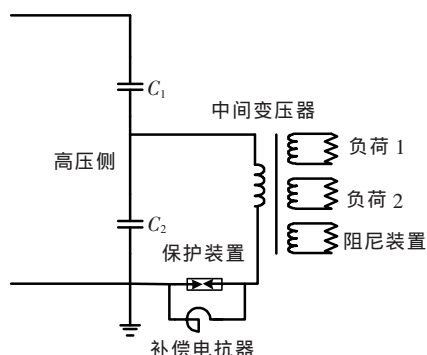


图1 CVT的原理简图

CVT采用电容分压,由戴维南定理可推得,当一次电压为 U_1 时,电容分压器 C_2 提供的电压为

$$U_2 = \frac{C_1}{C_1 + C_2} U_1 \quad (1)$$

电容分压器的等值电容为

$$C_e = C_1 + C_2 \quad (2)$$

2 CVT暂态响应

以TYD500/ $\sqrt{3}$ -0.005 H为例, CVT的暂态响应等效电路^[5]见图2,图2中的参数都已归算到中间变压器的一次侧。其中: $C_e=0.078\ 57\ \mu\text{F}$, $L_1=142.13\ \text{H}$, $R_1=1.96\ \text{k}\Omega$, $L_m=23\ 046\ \text{H}$, $R_m=16\ 600\ \text{k}\Omega$, $L_f=639.6\ \text{H}$, $R_f=1\ 352.1\ \text{k}\Omega$, $r_f=5.99\ \text{k}\Omega$, $L_b=3\ 229.6\ \text{H}$, $R_f=131.78\ \text{k}\Omega$ 。

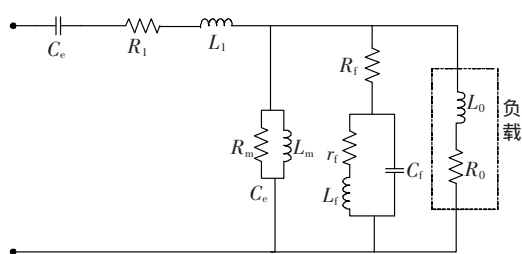


图2 CVT暂态分析等效电路

CVT含有电容电感等储能元件,因此影响其暂态响应的因素较多,比如分压电容、补偿电抗、中间变压器参数、阻尼装置类型以及其参数、电压短路相角和二次负荷的大小等等。其中,电压短路相角是随机的,所以文中重点分析短路相角对CVT暂态特性的影响。利用MATLAB仿真工具Simulink中电气系统模块库的标准元件建立CVT暂态特性仿真模型。改变模型中电压的短路相角,通过Simulink-sink中的示波器观察到CVT暂态响应随短路相角的变化曲线,见图3。

从图3中可以看出,当短路相角 $\alpha=0^\circ$ 时, CVT的输出电压衰减最慢,而且在5~30 ms内输出的电

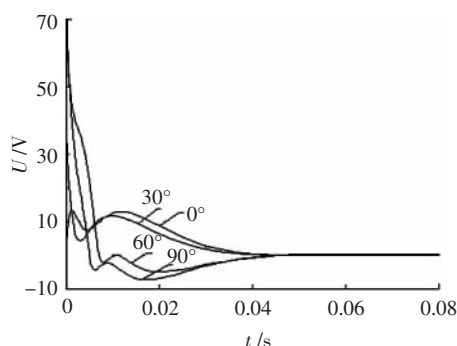


图3 不同短路角情况下的暂态响应

压幅值大于其他角度下短路的电压幅值,所以对继电保护的影响最大。

3 CVT暂态特性对微机保护算法的影响

微机继电保护是用数学运算方法来实现故障的测量、分析与判断^[6]。而运算的基础是一些离散的、量化了的数字采样序列,因此,寻找适当的离散运算方法使运算结果的精度能满足工程要求是微机继电保护研究的重点之一。以距离保护为例,其阻抗元件选用多边形特性和小矩形偏移特性相结合的判据来实现,见图4。为防止反向出口短路时保护误动,保护中运用了带偏移特性的阻抗元件,它和多边形方向特性在逻辑上构成或的关系。对于落入小矩形内的测量阻抗采用故障前电压和故障后电流进行比相来保证方向性,确保正方向正确动作,反方向不动。

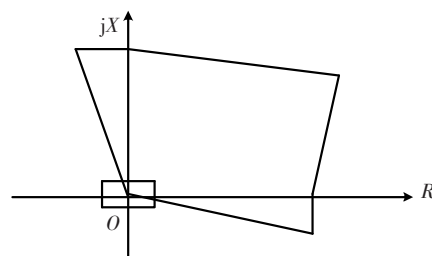


图4 距离保护阻抗动作特性

3.1 CVT暂态过程对解微分方程算法的影响

解微分方程算法主要应用于计算阻抗,假设被保护线路分布电容可以忽略,从故障点到保护安装处的线路阻抗可以用电阻和电感串联来表示,于是短路时下列微分方程成立

$$u = R_1 i + L_1 \frac{di}{dt} \quad (3)$$

R_1 、 L_1 为故障点到保护安装出的正序电阻和电感, u 、 i 为保护安装处测得的电压、电流。若设 $D=di/dt$,由不同的两个时刻测得的数据后,由式(3)可得

$$L_1 = \frac{u_1 i_2 - u_2 i_1}{i_2 D_1 - i_1 D_2} \quad (4)$$

$$R_1 = \frac{u_2 D_1 - u_1 D_2}{i_2 D_1 - i_1 D_2} \quad (5)$$

电流的导数可用差分近似计算得到。由式(4)、

(5)可以看出,由于 CVT 存在暂态过程,其测量阻抗必然存在误差。在微机保护采样频率 $f_s=600$ Hz 时,利用 MATLAB 算出在 0.1 s 暂态过程中的测量误差阻抗 ΔZ 的值,见图 5。图 5 中画出了由采样电压、电流计算出的 60 个离散的阻抗值,在电压稳定后最终趋于零。从图 5 中还可以看出短路角 α 较小时测量阻抗误差较大,受暂态过程影响更明显。

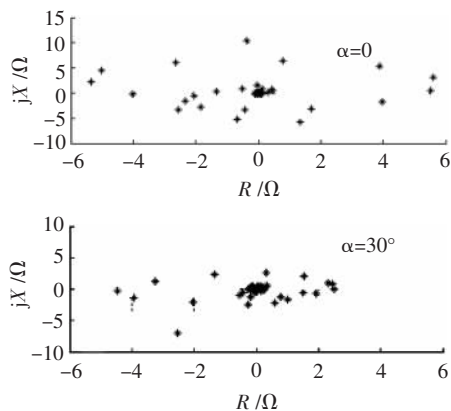


图 5 解微分方程得出测量误差阻抗 ΔZ

3.2 CVT 暂态过程对傅里叶算法的影响

傅里叶算法的思想来源于傅里叶级数,本身具有滤波作用。设 a_1, b_1 分别是基波的正、余弦项振幅, $x(t)$ 为被采样信号,则有离散形式

$$a_1 = \frac{2}{N} \left(\sum_{k=1}^{N-1} x_k \sin k \frac{2\pi}{N} \right) \quad (6)$$

$$b_1 = \frac{2}{N} \left(x_0 + \sum_{k=1}^{N-1} x_k \cos k \frac{2\pi}{N} + x_N \right) \quad (7)$$

式(6)、(7)中, N 为一个周期的采样点数, x_k 为第 k 次采样值。

在距离保护中,只要对电流、电压信号进行同样处理就可以得到 $a_{1I}, b_{1I}, a_{1U}, b_{1U}$ 等电流、电压基波幅值,利用两点乘法计算出阻抗值

$$X = \frac{b_{1U}a_{1I} - a_{1U}b_{1I}}{a_{1I}^2 + b_{1I}^2} \quad (8)$$

$$R = \frac{b_{1U}b_{1I} + a_{1U}a_{1I}}{a_{1I}^2 + b_{1I}^2} \quad (9)$$

在微机保护采样频率 $f_s=600$ Hz 情况下,利用 MATLAB 算出在 0.1 s 暂态过程中的测量误差阻抗

值,见图 6。每个工频周波可得到一个阻抗值,从图 6 中可以看出,当短路角 $\alpha=30^\circ$ 时,除了第一个周波内计算出来的阻抗偏离较大外,其他值都小于短路角 $\alpha=0$ 时的阻抗值,因此可以得出短路角较小时测量阻抗误差较大。

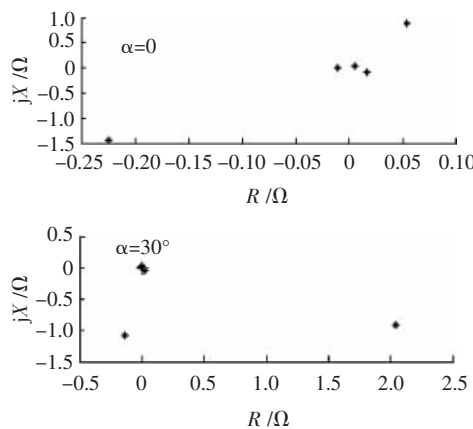


图 6 傅氏算法得出的测量误差阻抗

4 结语

短路相角对 CVT 暂态响应有较大影响,短路相角越小,输出电压幅值越大,衰减越慢,对继电保护影响越大。暂态过程中,傅氏算法较解微分方程算法更为稳定,且有滤波作用,因而受外界影响更小。为了减小暂态过程中 CVT 对保护的影响,防止保护误动,可对保护出口作适当的延时。

参考文献:

- [1] 庞亚东.国家电网公司 110~500 kV 变电站互感器典型规范编制情况介绍[J].电力设备,2007,8(6):16-19.
- [2] 房金兰.电容式电压互感器的技术发展[J].电力电容器,2007(2):1-4.
- [3] 杨育霞,马朝华,许 珉.电容电压初值对 CVT 铁磁谐振影响的仿真研究[J].电力自动化设备,2007,27(4):10-13.
- [4] 尹项根,曾克娥.电力系统继电保护原理与应用[M].武汉:华中科技大学出版社,2001.
- [5] 郁惟镛,吴小建.电容式电压互感器暂态响应的数字仿真研究[J].继电器,1998,26(1):27-32
- [6] 许建安.电力系统微继电保护[M].北京:中国水利水电出版社,2001.
- [10] IEC 60044-8.Instrument Transformers-part 8:Electronic Current Transformers[S].2002.
- [11] IEC 61850-9-1.Communication Networks and Systems in Substations-part 9-1:Specific Communication Service Mapping (SCSM)-serial Unidirectional Multidrop Point to Point Link [S].2003.
- [12] IEC 61850-9-2.Communication Networks and Systems in Substations-part 9-2:Specific Communication Service Mapping (SCSM)-sampled Values Over ISO/IEC 8802-3 Link[S].2003.

(上接第 33 页)

力自动化设备,2007,27(5):61-64.

- [6] 韩小涛,李 伟,尹项根,等.应用电子式电流互感器的变压器差动保护研究[J].中国电机工程学报,2007,27(4):47-53.
- [7] 刘 青,王增平,徐 岩,等.光学电流互感器对继电保护系统的影响研究[J].电网技术,2005,29(1):11-14.
- [8] 李岩松,刘 君,杨以涵,等.自适应光学电流互感器与保护一体化运行研究[J].中国电机工程学报,2007,27(22):57-62.
- [9] 乔 卉,刘会金,王群峰,等.基于 Rogowski 线圈传感的光电流互感器的研究[J].继电器,2002,30(7):40-43.