

电压互感器的暂态特性及对距离保护的影响

张华奇 广东省电力设计研究院(510600)

【摘要】 本文就PT、CVT的暂态特性及对距离保护的影响进行了比较。CVT的暂态特性比PT的差,而CVT在一次系统 0° 相位角短路时的暂态特性又比 90° 短路时的差。

【关键词】 PT CVT 暂态特性 距离保护

前言

电力系统中的继电器,其电流由电流互感器供给,其电压由电压互感器供给。电压互感器分为二类,一类是电磁式电压互感器(PT),另一类是电容式电压互感器(CVT)。500kV及以下电力系统多用PT,而500kV及以上电力系统,由于经济的原因,则多用CVT。系统发生故障,投切变压器、母线或线路时,系统一次会产生暂态电压,然后至稳态。电压互感器也会跟随产生暂态电压,暂态中,二次电压和一次电压不完全一样。CVT的二次暂态电压又不相同。这样,由二次电压供电的继电器,就会受到不同暂态电压的影响,继电器对暂态电压的反映如何,是应弄明白的,尤其是500kV级,更应

1 PT的暂态特性

1.1 如图1所示,当电力系统在线路上发生三相短路时,以A相为基准,A相的电流,从解微分方程式^[1]:

$$E_m \sin \omega t = (L_s + L_L) \frac{di}{dt} + R_L i \quad (1)$$

得

$$i = I_m (e^{-\frac{t}{T}} - \cos \omega t)$$

式中,含最大偏移直流分量,

$$T = \frac{L_s + L_L}{R_L}$$

$$I_m = \frac{E_m}{\sqrt{(X_s + X_L)^2 + R_L^2}} = \frac{E_m}{R_L} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}} \right)$$

$$I_{DC} = I_m e^{-\frac{t}{T}}$$

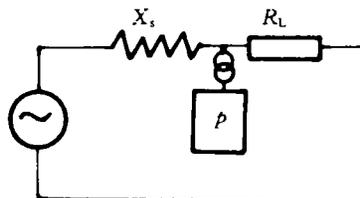


图1 继电器的电压接入示意图

$$t = 0 \text{ 时, } V_{\text{DCO}} = \frac{E_m}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}} \left(\frac{m}{m+1} \right) \approx E_m \frac{m}{(m+1)^2} \left(\frac{R_L}{X_L} \right)$$

求 V_{DCO} 的最大值, 取导数

$$\frac{dV_{\text{DCO}}}{dm} = 0$$

$$\text{得 } m = 1, \text{ 即 } \frac{X_S}{X_L} = 1$$

$$V_{\text{DCOmax}} = E_m \frac{1}{4} \left(\frac{R_L}{X_L} \right)$$

$$\text{设线路的 } \frac{X_L}{R_L} = \tan 80^\circ = 5.67$$

$$V_{\text{DCOmax}} = E_m \times 4.4\%$$

1.2 PT 的等价电路如图 2 所示, 归算至一次侧, 为了分析简单起见, 设 PT 二次

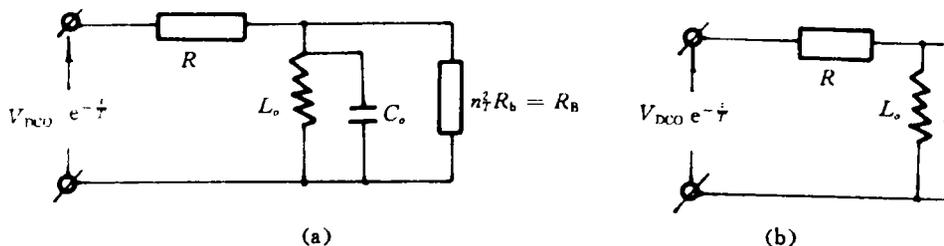


图 2 PT 等价回路(略去 C_0)

$$V_{\text{DCO}} e^{-t/\tau} = i_{\text{ODC}} R + L_0 \frac{di_{\text{ODC}}}{dt}$$

解微分方程式, i_0 直流分量

$$i_{\text{ODC}} = \frac{\beta}{\beta - \alpha} \left(\frac{V_{\text{DCO}}}{R} \right) (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t})$$

$$t = 0, \quad i_{\text{ODC}} = 0,$$

求 i_{ODC} 的最大值, 取导数

$$\frac{di_{\text{ODC}}}{dt} = 0, \text{ 得}$$

$$i_{\text{ODCmax}} = \frac{m}{(m+1)^2} \frac{R_L}{X_L} \frac{E_m}{R} (\gamma) \tau^{-1}$$

$$t = 0 \text{ 时, } V_{zDCO} = L_o \beta \frac{V_{DCO}}{R} = V_{DCO}$$

1.4 PT的暂态特性,如图3所示。

从式8及式15可知PT的暂态电压直流分量最大值只有4.4% E_n ,励磁电流直流分量最大值只有0.5 i_{om} ,可见PT在暂态电压上,情况很好,PT的暂态特性对保护来说是很满意的。

至于PT二次侧的铁磁谐振,厂家制造时均已采取措施避免,如采用较低的铁心磁通密度及二次侧带一定的二次阻尼电阻。

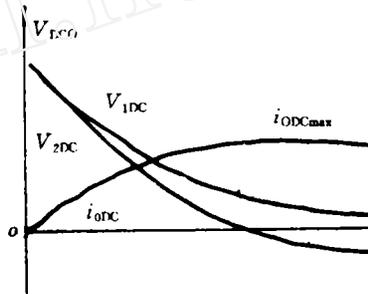


图3 PT的暂态特性

2 CVT的暂态特性

2.1 CVT为一电容分压器,它除了供给载波信道使用外,还供电压给仪表测量及继电器保护用,它可代替PT使用,但它的暂态特性与PT不同,在参数上,CVT为了满足载波通信的使用, C_H 值不宜过小。在500kV,例如可用

$$C_H = 5000PF \quad (16)$$

CVT又为了在不同负载下,保证电压测量的准确性,取:

$$\omega L_1 = \frac{1}{\omega C_e} \quad (17)$$

为了分析方便起见,根据戴维南定理, CVT等价电源为:

$$V_e = \frac{C_H}{C_L + C_H} V_1 \quad (18)$$

$$\text{等价电容为: } C_e = C_H + C_L \quad (19)$$

并可列出回路方程式。

$$V_{em} \sin \omega t = \frac{1}{C_e} \int i_1 dt + i_1 (R_1 + R_B) + L_1 \frac{di_1}{dt} \quad (20)$$

$$- i_2 R_B$$

$$0 = \frac{1}{C_o} \int (i_2 - i_3) dt + i_2 R_B - i_1 R_B \quad (21)$$

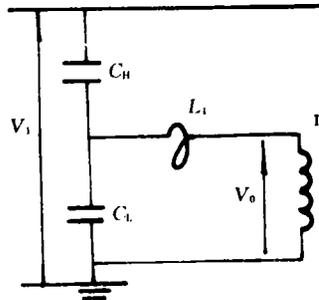


图4 CVT

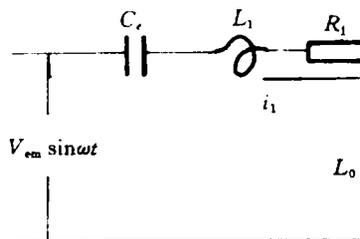


图5 CVT归至中间变压器

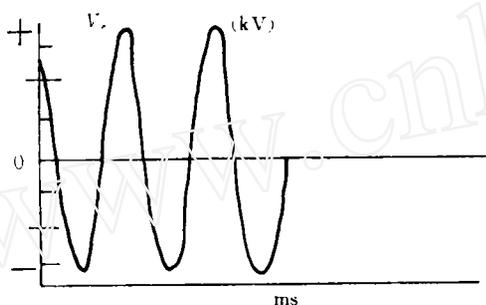


图6 电压过0时短路

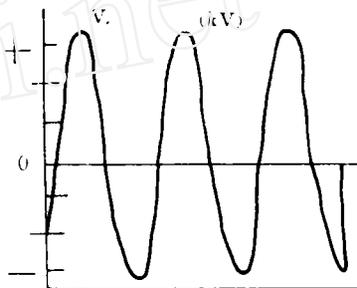
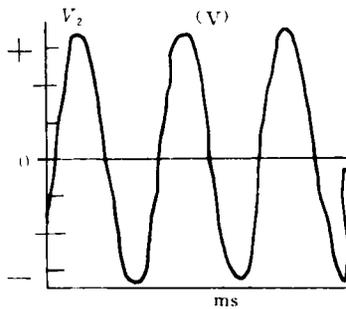
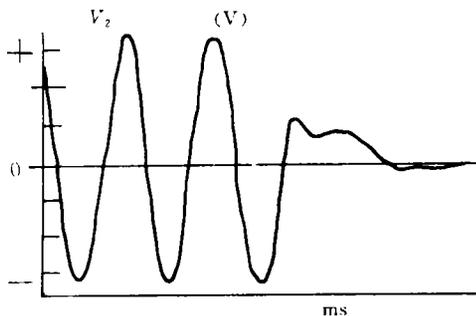


图7 电压峰值时短



进一步分析可知,由于 CVT 的参数满足式 17,CVT 二次回路 R、L、C 的电决定。当电压峰值时,二次电流最大而电感储能最多,但 CVT 回路等价电容电压过 0 时,二次电流最小而电容充电至最大能量。由于是调谐电路,电容器在电能最大值和电感在电压峰值时的储能最大值相等,但从图 6 电压过 0 时短路和图 7 电压峰值时短路的波形比较,电压过 0 时 CVT 出口三相短路的暂态过程较坏。

衰减振荡含有 2 个频率,一为低频,一为高频,频率的大小与 CVT 参数有关,电感 L 和电容 C。产生暂态低频分量,而并联电容 C。产生暂态高频分量,可见 CVT 的暂态特性差。

3 继电保护对 CVT 暂态特性的要求

4 CVT 一例

500kV 引进的 CCV—525 的电容式电压互感器

(1) 额定一次电压 $V_{1n} = \frac{500}{\sqrt{3}} \text{kV}$

(2) 额定二次电压 $V_{2n} = \frac{0.1}{\sqrt{3}} \text{kV}$

(3) 额定电压比 $\frac{500}{\sqrt{3}} / \frac{0.1}{\sqrt{3}} / \frac{0.1}{\sqrt{3}} / 0.1$

(4) 额定容量及等级 200VA 0.2/200VA 3P/100VA 3P

(5) 主电容 $C_H = 5000\text{PF}$

(6) 辅助电容 $C_L = 105800\text{PF}$

(7) 等效电压 $V_e = \frac{500}{\sqrt{3}} \frac{C_H}{C_H + C_L} \text{kV} = 12970\text{V}$

(8) 暂态特性 V_1 过 0 时三相短略
20ms 衰减至 8.2% < 10%
 V_1 峰值时三相短路
20ms 衰减至 2.7% < 10%

(9) 铁磁谐振 加 1.2 V_{1n} 及 1.5 V_{1n}
 V_2 短接 7 周后断开无铁磁谐振。

5 有关 CVT 暂态的因素

(1) 短路时, V_1 电压波形上的相位角, 当电压过 0 时 CVT 出口三相短路, 暂

(2) 主电容 C_H 的值, 500kV 可取 $C_H = 5000\text{PF}$, 但辅助电容 C_L 值是由厂家设计与暂态有关。

(3) 中间电压互感器的变比。

(4) 负载的大小及功率因素。

(5) 中间电压互感器励磁阻抗值。

(6) 铁磁谐振抑制电阻值。

以上诸因素会影响到 CVT 内的 R、L、C 参数的大小, 会影响到暂态低频分及其衰减的时间常数。其中, 最主要的是短路时的电压相位角。