

保护用电流互感器的选择

K1 引言

用于 220~500kV 大型电力变压器保护的电流互感器应选用 P 级或 TP 级。P 级是一般保护用电流互感器,其误差是在稳态正弦一次电流条件下的误差。

TP 级电流互感器可用于暂态条件下工作,是有暂态误差要求的保护用电流互感器。TP 级又分为 TPS, TPX, TPY, TPZ 四种。

TPS 级:是低漏磁型电流互感器,其性能由二次励磁特性和匝比误差限值规定,无剩磁通限值。

TPX 级:准确限值规定为在指定的暂态工作循环中的峰值瞬时误差,无剩磁通限值。

TPY 级:准确限值规定为在指定的暂态循环中的峰值瞬时误差,剩磁通不超过饱和磁通的 10%。

TPZ 级:准确限值规定为在指定的二次回路时间常数和具有最大直流偏移,单次通电的峰值瞬时交流分量误差,无直流分量误差限值要求,剩磁通可以忽略不计。

通常 330kV 及以下变压器的主保护和后备保护以及 500kV 变压器的后备保护选用 P 级电流互感器。500kV 变压器的差动保护有时需选用 TP 级电流互感器。

K2 P 级电流互感器的选择

K2.1 一次额定电流的选择

一次额定电流选择应满足以下要求:

- 一次额定电流应大于所在回路可能出现的最大负荷电流。
- 应能满足短时热稳定和动稳定电流的要求。
- 由同一母线引出的各回路,电流互感器宜采用相同的变比,以便于实现母线差动保护。
- 选取的电流互感器一次额定电流值应与国标 GB1208 推荐的标准值相一致,宜选用制造厂生产的标准产品。

K2.2 二次额定电流的选择

根据 GB1208 规定,标准的电流互感器二次额定电流为 1A 或 5A。

电流互感器二次电流采用 1A 比采用 5A 匝数比大 5 倍,二次开路电压高、内阻大,但采用 1A,在相同条件下可减轻电流互感器的二次负担,减小电流回路电缆截面,降低工程造价。因此,推荐 220~500kV 电力变压器保护用电流互感器二次额定电流采用 1A。

K2.3 电流互感器额定输出容量的选择

保护用电流互感器的输出容量按下式计算

$$S_a = I_{2N}^2 (\Sigma K_{rc} Z_r + K_{LC} Z_L + Z_T) \quad (K1)$$

式中: S_a ——电流互感器的实际输出容量, VA;

I_{2N} ——电流互感器的二次额定电流, A;

K_{rc} ——继电器的接线系数;

Z_r ——继电器线圈阻抗, Ω ;

K_{LC} ——连接导线的接线系数;

Z_L ——连接导线的阻抗, Ω ;

Z_T ——接触电阻, 取 0.05~0.1 Ω 。

选择电流互感器的额定输出容量 $S_N > S_a$, S_N 应是 GB1208 规定的标准容量。

当 S_a 值较大不能选出标准的输出容量时,可采取以下措施解决:

- a) 加大电流回路电缆截面，减小 Z_L 。
- b) 改变电流互感器二次回路接线方式，例如将不完全星形接线改成为完全星形接线、将三角形接线改成星形接线，使接线系数为 1。
- c) 选用二次多绕组的电流互感器，将保护继电器分摊在不同的二次绕组或将两个二次绕组串联使用。

K2.4 额定准确限值一次电流和准确限值系数的选择

保护用电流互感器在额定频率、额定负荷和额定功率因数条件下，能满足复合误差要求的最大对称一次电流有效值 I_{psc} ，即为额定准确限值一次电流。准确限值一次电流与额定一次电流 I_N 之比 $K_{sscn} = I_{psc} / I_N$ 称为电流互感器的额定准确限值系数。 K_{sscn} 的标准值根据 GB1208 的规定为 5, 10, 15, 20, 30。其中 15, 20 两种为优先选用值。

在选择 K_{sscn} 时要进行短路电流计算，求出电流互感器所在回路可能通过的最大对称短路电流值 I_{scm} 和最大短路电流倍数 $K_{sscm} = I_{scm} / I_N$ ，应选 $K_{sscn} > K_{sscm}$ 。

当电流互感器的实际负载 S_a 小于额定负载 S_n 时，实际准确限值系数 K_{ssca} 可按下式估算

$$K_{ssca} = K_{sscn} \frac{S_{in} + S_N}{S_{in} + S_a}$$

(K2)

式中： S_{in} ——电流互感器的内部负载，VA。

例如：一台 5P20 电流互感器，额定二次输出是 10VA；额定二次电流 1A；额定准确限值系数为 20；二次绕组的内阻 $R_{in} = 1.5\Omega$ ，电流互感器的内部负载 $S_{in} = (1A)^2 \times 1.5\Omega = 1.5VA$ 。假设外接继电器的阻抗 $Z_r = 1.1\Omega$ ，全星形接线 $K_r = 1$ ；连接导线阻抗 $Z_L = 1.5\Omega$ ，接触电阻 $Z_T = 0.1\Omega$ ，则电流互感器的实际输出容量 $S_a = (1A)^2 \times (1.1 + 1.5 \times 0.1)\Omega = 2.7VA$ ，按式 (K2) 计算 $K_{ssca} = 20 \times \frac{1.5 + 10}{1.5 + 2.7} = 54.7$ ，即最大对称短路电流倍数可增大为 54.7。

K2.5 准确级的选择

保护用 P 级电流互感器准确度级分为 5P 和 10P 两种，其误差限值如表 K1 所示。5P 级电流互感器的误差低于 10P 级，5P 级的价格远高于 10P 级。保护装置整定计算时，电流互感器的变比误差通常按 10% 计算。因此，保护用电流互感器应优先选用 10P 级，在有特殊要求时才选用 5P 级。

表 K1 P 级保护用电流互感器的误差限值

准确级	在额定一次电流时 电流误差±%	在额定一次电流时相位差		在额定准确限值一次 电流时变比误差%
		± (′)	± (crad)	
5P	1	60	1.8	5
10P	3	—	—	10

K3 TP 级电流互感器的选择

K3.1 TP 级电流互感器的误差限值

TP 级电流互感器的主要特性是满足暂态误差的要求，表 K2 列出了各种 TP 级电流互感器的误差限值。

表 K2 TP 级保护用电流互感器的误差限值

暂态级	在额定一次电流下误差限值			在准确极限条件下 最大峰值瞬时误差
	比误差	相位差		
	± %	(′)	(crad)	%
TPX	0.5	±30	±0.9	10
TPY	1	±60	±1.8	10
TPZ	1	180±18	5.3±0.6	10（交流分量）

K3.2 误差限值的条件

TP级电流互感器的误差限值,是在一系列规定条件下的误差。这些条件是由电流互感器的使用环境所决定,在电流互感器订货时必须向制造厂提出。但为了规范电流互感器的制造,国际电工委员会在IEC44-6(1992)中对电流互感器的暂态条件作了规定,推荐了可选择值,在选择电流互感器的暂态条件时,应与这些推荐值相适应。

a) 额定对称短路电流倍数 K_{sscn} 的标准值。暂态型保护用电流互感器的 K_{sscn} 标准值为 3.5, 7.5, 10, 12.5, 15, 17.5, 20, 25, 30, 40, 50, 其中 10, 15, 20 为优先选用值。

b) 额定一次时间常数 (T_p) 的标准值。标准值以毫秒 (ms) 表示,有 40, 60, 80, 100, 120。在我国通常在 500kV 系统取 100ms; 在 220kV 及以下系统取 60ms。

c) 短路电流的初相角。短路时电压的初相角 $\theta=0$, 即短路电流初始值为最大值,一次电流为“全偏移”,即非周期分量电流有最大值。

d) 规定的工作循环:

单次通电 $C \rightarrow t' \rightarrow 0$

双次通电 $C \rightarrow t' \rightarrow 0 \rightarrow t_{cr} \rightarrow C \rightarrow t'' \rightarrow 0$

其中: C——合闸;

0——分闸;

t' ——第一次通过电流时间,在 t'_{al} 时间内保持规定的准确度, $t' > t'_{al}$;

t'' ——第二次通过电流时间,在 t''_{al} 时间内保持规定的准确度, $t'' > t''_{al}$;

t_{cr} ——无电流时间,在有自动重合闸的情况下,一次短路电流从切断起到其重复出现时的时间间隔;

t'_{al} 和 t''_{al} ——准确限制保持时间,通常由继电保护装置测量元件的临界测量时间所确定,当继电保护装置的测量元件在故障未切除而一直处于工作状态时,还要考虑加入断路器的切断电流时间, t'_{al} 和 t''_{al} 通常选择 20~50ms。

500kV 系统一般按 $t' = 100ms$, $t'' = 60ms$, $t_{cr} = 300 \sim 500ms$ 选择。

工作循环中各时间参数要选择恰当,否则会造成产品的功能过剩或不足。过剩会使产品价格无谓增高,造成浪费;不足则对安全运行不利。

e) 额定电阻负荷的标准值 (R_b)。对于 TP 级电流互感器,当额定二次电流为 1A 时,以 Ω 表示的额定电阻负荷的标准值为 2.5, 5, 7.5, 10, 15, 其中 5 和 10 为优先选用值。

f) 二次绕组电阻 (R_{ct})。二次绕组的直流电阻规定为 75℃ 或其他规定温度时的电阻值, Ω 。

g) 二次回路总电阻 (R_s)。二次回路的总电阻,包括 75℃ 或其他规定温度时的二次绕组电阻以及所有外接负荷的电阻, Ω 。

h) 额定二次回路时间常数 (T_s)。电流互感器的二次回路时间常数由下式求得

$$T_s = L_s / R_s \tag{K3}$$

式中: L_s ——电流互感器的励磁电感和漏电感之和。

i) 额定二次负荷的功率因数 $\cos\varphi=1$ 。

K3.3 可导出的电流互感器其他暂态参数

a) 暂态面积系数。全偏移电流 $i(t) = \sqrt{2} I_{psc} (e^{-t/T_p} - \cos\omega t)$ 经 t 秒后电流互感器的暂态面积系数为

$$K_{tf} = \frac{\omega T_p T_s}{T_p - T_s} (e^{-t/T_p} - e^{-t/T_s}) - \sin\omega t \tag{K4}$$

b) 暂态磁通到达最大值的时间 (t_{max})。假定在规定的通电时间内,电流互感器铁心未饱和前,铁心中的暂态磁通达到最大值所经过的时间,可由式 (K4) 导出 (取 $\sin\omega t = -1$) 如下

$$t_{\max} = \frac{T_p T_s}{T_p - T_s} I_n \frac{T_p}{T_s}$$

对应 t_{\max} 的 K_{tf} 值为

$$K_{\text{tf, max}} = \omega T_p \left(\frac{T_p}{T_s} \right)^{T_p / (T_s - T_p)} + 1$$

c) 对于 $C \rightarrow t' \rightarrow 0$ 工作循环所需的暂态面积系数

$$K_{\text{td}} = \frac{\omega T_p T_s}{T_p - T_s} (e^{-t'_{\text{al}}/T_p} - e^{-t'_{\text{al}}/T_s}) + 1$$

d) 对于 $C \rightarrow t' \rightarrow 0 \rightarrow t_{\text{cr}} \rightarrow C \rightarrow t'' \rightarrow 0$ 工作循环所需的暂态面积系数

$$K_{\text{td}} = \left[\frac{\omega T_p T_s}{T_p - T_s} (e^{-t'/T_p} - e^{-t'/T_s}) - \sin \omega t' \right] e^{-(t_{\text{cr}} + t'_{\text{al}})/T_s} \\ + \frac{\omega T_p T_s}{T_p - T_s} (e^{-t'_{\text{al}}/T_p} - e^{-t'_{\text{al}}/T_s}) + 1$$