

经验
交流

电流互感器的误差及其对继电保护的影响

Error of Current Transformers and Its Influence on Relay Protection

王 燕

(北京华银电力工程有限公司, 北京 100049)

摘要: 继电保护装置是通过电流互感器来反应被保护元件中所通过的电流。由于电流互感器存在误差, 造成在短路过程中一次电流产生偏差, 影响继电保护装置的正确工作。为保证继电保护装置的正确工作, 必须对电流互感器的误差进行深入的研究, 分析电流互感器产生误差的原因, 确定检验电流互感器误差的方法, 分析电流互感器误差对继电保护装置的影响, 找出减小误差的具体措施。

关键词: 电流互感器; 继电保护; 误差; 10% 误差

[中图分类号] TM452 [文献标识码] B [文章编号] 1004-7913(2006)01-0030-04

在电力系统运行中, 继电保护装置的基本任务是当电力系统中的电气元件发生故障时, 能够自动、迅速、有选择性地将被故障元件切除, 保证其他无故障部分迅速恢复正常运行。继电保护装置正确动作的前提是必须准确地感知故障量的大小, 继电保护装置通过电流互感器反应被保护元件中所通过的电流。电流互感器的误差影响继电保护装置的工作质量, 而电流互感器在短路过程中能否真实地传变一次电流, 对于继电保护装置的正确工作起着决定性的作用。电流互感器的误差对其传变一次电流影响很大。规程规定用于继电保护的电流互感器在一次电流等于最大短路电流时, 其变比误差应 ≤ 10%。

1 电流互感器误差的产生

计算电流互感器二次电流是用一次电流除以电流互感器的变化来获取, 是在忽略了励磁电流的前提下得到的结果。实际上, 由于电流互感器存在励磁电流, 产生了电流互感器的测量误差。测量误差就是电流互感器的二次输出量 (I_2) 与折算到二次侧的一次输入量 (I_1) 之间大小不相等、幅角不同所造成的差值。因此, 电流互感器的误差可分为数值 (变比) 误差和相位 (角度) 误差。我们重点讨论电流互感器的变比误差。

励磁电流是造成电流互感器二次电流和一次电流不成比例的直接原因。励磁电流使一次折算至二次侧的电流不等于二次电流, 造成了电流互感器的变化误差 (f_b), 计算公式为

$$f_b = (I_2 - I_1/n_L) / (I_1/n_L) \quad (1)$$

式中 n_L ——电流互感器的变比。

电流互感器的等值电路如图 1 所示, 图中各参数均折算到二次侧。

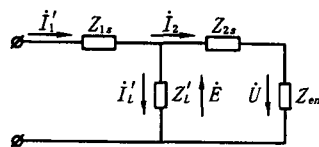


图 1 电流互感器等值电路

Z_{1s} 、 Z_{2s} ——电流互感器一、二次侧的漏抗; Z_L' ——励磁阻抗; Z_{en} ——负荷阻抗

为了方便计算, 定义 $Z_2 = Z_{2s} + Z_{en}$ 为二次阻抗。

由图 1 可知二次电流与一次电流关系为

$$I_2 = I_1' - I_L' \quad (2)$$

$$I_2 (Z_{2s} + Z_{en}) = (I_1 - I_2) Z_L' \quad (3)$$

$$I_2 = \frac{Z_L'}{Z_{2s} + Z_{en} + Z_L'} \times I_1 \quad (3)$$

将式 (3) 代入式 (1) 得:

$$|f_b| = \frac{Z_{2s} + Z_{en}}{Z_{2s} + Z_{en} + Z_L'} \quad (4)$$

二次漏抗 Z_{2s} 变化很小, 可以视为不变, 根据式 (4), 当系统发生故障时, 一次电流突然增大, 在一次电流的非周期分量的影响下, 电流互感器铁心很快饱和, 励磁阻抗迅速下降, 励磁电流急剧上升, f_b 将明显增大。在一次电流不变的情况下, 如果负荷阻抗增大, 使二次阻抗支路的分流减小, 励磁电流增大, 也会使 f_b 增加。

此外, 励磁电流还能使二次电流在相位上偏离一次电流, 造成电流互感器相位误差。

由于电流互感器存在励磁阻抗,因此,电流互感器的误差不能完全消除。为了使继电保护装置能够正确感知故障量的大小,必须将电流互感器的误差控制在一定范围。继电保护要求电流互感器在一次电流等于最大短路电流时,其变比误差小于10%。因而产生了电流互感器的10%误差曲线。

2 电流互感器的10%误差曲线

电流互感器的10%误差曲线是指变化误差满足 $f_b = 10\%$ 时,一次电流(I_1)与其额定电流(I_{1e})的比值($m_{10} = I_1/I_{1e}$)和二次负荷阻抗(Z_{en})的关系特性曲线(如图2所示)。由图2可知,在电流互感器的10%误差允许范围内,一次电流和二次负荷阻抗是相互制约的,一次电流越大,允许的二次负荷阻抗就越小。

另外,10%误差与角度误差有一定的关系。理论分析和运行经验表明,当保护用的电流互感器满足10%误差曲线要求时,角误差不超过 7° 。

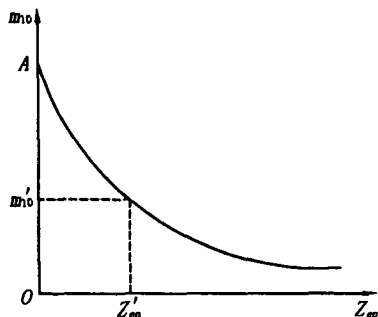


图2 电流互感器的10%误差曲线

通过给定电流互感器的10%误差曲线可验证一次电流和负荷阻抗。当已知电流倍数 m_{10} 时,由10%误差曲线可方便地得出允许的负载阻抗。如果不小于实际负载阻抗,误差就满足要求;否则,应设法降低实际负载阻抗,直到满足要求为止。当已知实际负载阻抗时,也可由曲线求出电流倍数 m_{10} ,与流经电流互感器绕组的最大短路电流进行比较,判断是否满足误差要求。

电流互感器的10%误差曲线一般由制造厂给出,在现场电流互感器的10%误差曲线可由试验求取,具体步骤如下。

a. 收集保护类型、整定值、电流互感器的变比和接线方式等数据。

b. 用电桥测量电流互感器的二次绕组直流电阻(R_2),近似代替电流互感器二次绕组漏抗 Z_{2S} (110~220 kV电流互感器取 $R_2 = Z_{2S}$,35 kV贯穿

式或厂用馈线电流互感器取 $3R_2 = Z_{2S}$)。

c. 将电流互感器一次侧开路,用伏安特性法作出二次侧电压 $U = f(I_L')$ 曲线。用以下公式求出相应的数值。

$$\text{励磁电压: } E = U - I_L' Z_{2S}$$

$$\text{励磁阻抗: } Z_L' = \frac{E}{I_L'}$$

$$\text{电流倍数: } m_{10} = \frac{I_1}{I_{1N}}$$

$$\text{允许二次负荷阻抗: } Z_{en} = \frac{E}{9I_L'} - Z_{2S}$$

d. 以 m_{10} 为纵坐标、 Z_{en} 为横坐标,将求得的 m_{10} 和 Z_{en} 的值逐点绘制在坐标纸上,即可得到10%误差曲线 $m_{10} = f(Z_{en})$ 。

由于接在电流互感器二次侧的继电保护装置多是反应短路时电流增大而动作的,短路时需要电流互感器正确反映一次侧的电流,因此重要保护装置用的电流互感器都需要满足10%误差曲线的要求。

3 电流互感器误差对继电保护的影响

3.1 距离保护

电流互感器误差会影响阻抗继电器测量阻抗的精确性,从而对距离保护产生影响。电流互感器误差将引起阻抗继电器端子电流的相位误差及数值误差,从而影响测量精度。

就阻抗继电器的测量阻抗来说,因其使用的电流是通过电流互感器接入一次系统,电流互感器的误差将影响测量阻抗的数值和相角(不考虑电压误差)。

如图3所示,设在被保护线路上距保护安装处的距离为 l_d 处发生了金属性短路故障(如AB两相短路故障),则保护安装处母线残压 \dot{U}_{AB} (A、B相间电压)为

$$\dot{U}_{AB} = (\dot{I}_A - \dot{I}_B) Z_1 l_d \quad (5)$$

式中 Z_1 ——被保护线路单位长度的正序阻抗值;
 \dot{I}_A 、 \dot{I}_B ——由母线流向线路的A、B相电流(流经保护)。

考虑到电流互感器的误差,继电器的测量电流为

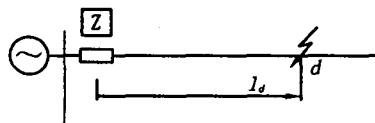


图3 d 点发生金属性短路故障示意图

$$\dot{I}_{CL} = \frac{\dot{I}_A - \dot{I}_B}{n_{LH}} k_i e^{j\delta} \quad (6)$$

式中 n_{LH} ——电流互感器变比；
 k_i ——考虑变比误差的系数；
 δ ——角误差（二次电流超前一次电流为正）。

继电器测量阻抗 $Z_{CL}' = \dot{U}_{CL}' / \dot{I}_{CL}'$ ，而 $\dot{U}_{CL}' = \dot{U}_{AB} / n_{YH}$ (n_{YH} 为电压互感器变比)，根据式 (5) 有：

$$Z_{CL}' = Z_1 l_d \frac{n_{LH}}{n_{YH}} \times \frac{1}{k_i} e^{-j\delta}$$

可见，由于电流互感器误差的存在，造成了测量阻抗在数值上发生 $1/k_i$ 倍的变化，相角发生了 $(-\delta)$ 的变化。

图 4 为电流互感器误差对方向阻抗继电器保护区长度的影响，在 Z_{CL}' 方向上继电器的实际动作阻抗为

$$Z_d' = Z_Z \cos(\Delta\phi - \delta_i)$$

整定阻抗为

$$Z_Z = Z_1 l_Z \frac{n_{LH}}{n_{YH}}$$

式中 l_Z ——整定的保护区长度。

实际保护区长度 (l_d) 与整定保护区长度 (l_Z) 比为 $\frac{l_d}{l_Z} k_i \cos(\Delta\phi - \delta_i)$ 。

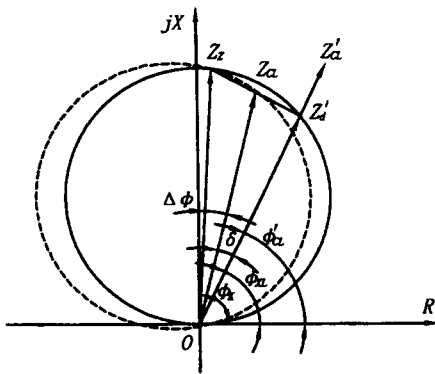


图 4 电流互感器误差对方向阻抗继电器保护区长度的影响
 ϕ_k ——整定阻抗角； ϕ_{KL} ——线路阻抗角； $\Delta\phi$ ——角误差

电流互感器误差的存在，使继电器的测量阻抗角 (ϕ_{CL}') 偏离整定阻抗角。同时因变比误差的存在，使测量阻抗数值发生变化，导致保护范围的变化，从而影响距离保护的正常工作。此外，因 ϕ_{CL}' 偏离最大灵敏角，灵敏度也受到了一定的影响。

电流互感器的误差对距离保护产生影响，当电流互感器不满足 10% 误差要求时，这种影响会更大，甚至造成保护的不正常动作。

3.2 纵联差动保护

纵联差动保护在外部短路时，虽然两侧的一次电流相等，但由于电流互感器误差的存在，使二次差动回路产生了不平衡电流，从而对纵差保护的灵敏度造成很大的影响。为了保证纵联差动保护的正确动作，要求差动保护使用的电流互感器应满足 10% 误差要求。

在环流法接线的纵联差动保护中（见图 5），不平衡电流是由两侧电流互感器的误差不同引起的，即励磁电流之差 ($\dot{I}_{bp} = \dot{I}_{BL}' - \dot{I}_{AL}'$)。现假设 A 侧的电流互感器不满足 10% 误差要求，当在 d 点发生区外故障时，随着一次电流的增加，由于短路电流非周期分量的影响，电流互感器铁心迅速饱和，根据电流互感器的误差分析可知，A 侧电流互感器的励磁电流远大于 B 侧，造成继电器线圈中的电流 (\dot{I}_J) 比正常运行时增加了很多，从而影响纵联差动保护的正确动作，甚至造成保护误动。

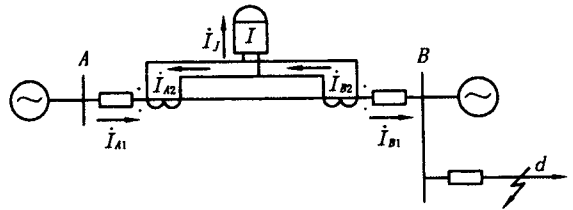


图 5 纵联差动保护的单相原理接线图

为尽量减小电流互感器误差产生的不平衡电流，继电保护要求差动保护采用特制的 C 级电流互感器。在配置电流互感器的二次负载时，要求按满足 10% 误差曲线来校验，并尽量使用同一厂家、同一型号的电流互感器。

3.3 阶段式电流保护

阶段式电流保护是将瞬时、限时电流速断及过电流保护组合在一起，通过动作电流、动作时限及保护区的配合来实现对线路的保护作用。但是，如果保护用的电流互感器不能满足 10% 误差要求，可能造成电流保护的可靠性降低。

以阶段式电流保护中的两段为例(瞬时电流速断保护为 I 段、限时电流速断保护为 II 段)，在单侧电源线路 A、B 两处设有两段式电流保护，每段保护的保护区范围如图 6 所示。当 B 处电流互感器不满足 10% 误差，由于短路时非周期分量的影响，励磁电流上升，使反应到保护装置中的电流下降，造成 B 处 I 段保护区减小。严重时，将使 B 处 I 段保护区落在 A 处的 II 段保护区之内(如图 6 中的 l_{BI}' 在 l_{AI} 范围之内)，此时若 d 点发生故障，由于故障点在 B 处的 I 段保护区

围之外, B 处的 I 段保护不动作。故障点在 A 处的 II 段保护范围之内, A 处的 II 段保护就有可能延时跳闸, 从而造成了保护越级跳闸, 扩大了故障范围, 对电力系统的稳定造成了影响。

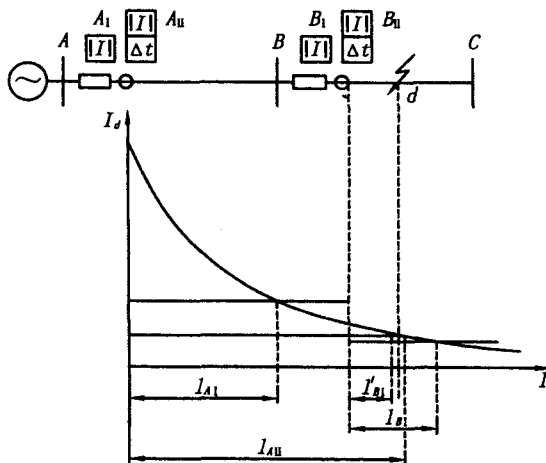


图6 两段式电流保护范围

通过分析电流互感器的误差对继电保护的影响, 当电流互感器不满足 10% 误差要求时, 将造成保护的不正确动作。为此, 要求电流互感器的一次电流等于最大短路电流时, 其变比误差应 $\leq 10\%$ 。

4 解决电流互感器 10% 误差的措施

a. 增大二次回路中控制电缆的截面。因为大多数情况下, 电流互感器的负载主要由控制电缆的电阻决定。增大控制电缆的截面, 以减小电流互感器二次绕组的负载, 达到减小电流互感器误差的目的。

b. 串接 1 台相同变比的备用电流互感器。将

2 台同变比的电流互感器串联使用, 可以提高电流互感器的容量, 使电流互感器允许的二次负载增大 1 倍, 从而减小电流互感器的误差。

c. 改用伏安特性较高的二次绕组。当使用的二次绕组不满足误差要求时, 可以使用伏安特性较高的二次绕组, 使电流互感器的饱和电压提高, 相应地减小了电流互感器的误差。

d. 增大电流互感器的变比。由于变比增大, 二次电流成比例地减小, 在相同的负载下, 二次线圈感应电势也成比例下降, 磁通将按变比的平方下降, 使励磁电流减小, 从而减小电流互感器误差。

5 结束语

在现场工作中要充分运用电流互感器的 10% 误差曲线, 通过电流互感器 10% 误差曲线选定二次回路中控制电缆的截面, 也可检查现有的二次负荷阻抗是否满足 10% 误差的要求。设法减小电流互感器的误差, 提高继电保护的灵敏度, 确保继电保护装置的正确工作。

参考文献:

- [1] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1983.
- [2] 洪佩孙, 许正亚. 输电线路距离保护 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1986.
- [3] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护实用技术问答 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1997.

作者简介:

王燕 (1976—), 女, 本科, 助工, 现主要从事电力高压测试仪和继电保护仪器仪表的研究工作。

(收稿日期 2004-09-26)

(上接第 22 页)

4 结束语

本文所提出的监控模式在实际应用中稳定、可靠, 特别适用于中小型水电站。在所设计的规约类的基础上, 扩充新的规约变得很容易, 同时整体可靠性高。整个系统的使用与维护都很容易。这种方式的系统缺点是对于网络平台的可靠性依赖较高, 如果前置模块要处理的终端装置较多时, 处理周期较长。

参考文献:

- [1] 施冲, 朱辰, 方辉钦, 黄健. 水电厂计算机监控技术

发展趋势分析 [J]. 水电自动化与大坝监测, 2002 年, 26 (6): 1~4.

- [2] 薛敏, 陈家骏. 一种面向对象的电力系统监控软件模型 [J]. 计算机应用研究, 2002 年, (6): 52.
- [3] 吴国忠, 冯颖. 小水电站监控系统中通信模块的研究 [J]. 浙江大学学报 (工学版), 2001 年, 35 (5): 572~574.
- [4] 张一亮. 水电站计算机监控系统的可靠性分析 [J]. 浙江电力, 1994 年, (6): 5.

作者简介:

杨东 (1974—), 男, 四川遂宁人, 硕士在读, 研究方向为变压器保护、水电站综合自动化。

(收稿日期 2005-09-15)