

增大电流互感器变比与减小电流互感器二次负担

吴运祥, 吕军梅, 孙月琴

(安徽电力中调所, 安徽 合肥 230061)

【摘要】 从分析电流互感器 10% 误差着手, 提出在系统短路容量增大时应特别注意校核电流互感器二次负担, 阐述电缆阻抗是电流互感器的主要二次负担。为满足电流互感器 10% 误差而采取增大电流回路电缆截面, 增大电流互感器变比等办法时应注意的有关问题。

【关键词】 电流互感器; 二次负担; 电缆阻抗; 误差; 增大变比

1 引言

随着大型电厂的不断投入和电网的迅速发展, 超高压电网的短路容量不断增长, 有的 220kV 变电所的最大短路电流已达 30kA。这除了应需要对一些一次设备进行校核外, 很重要的但往往又易忽略的是要校核电流互感器是否超过 10% 误差。当超过 10% 误差后将对继电保护产生严重影响, 特别会造成母差、变压器差动等快速保护不正确动作。

如果超过电流互感器 10% 误差, 如何解决? 本文从分析电流互感器二次负担的各种因素着手提出了增加电流互感器二次电缆截面、增大电流互感器变比、串接备用电流互感器等办法, 以及在使用上述措施时应注意的有关问题。

2 影响电流互感器二次负担的有关因素

电流互感器的变比误差除了与电流互感器的材料、结构、变比大小有关外, 还与其二次负担有关。现在我们首先讨论超高压电网中全部采用三相式电流互感器, 且型式、变比已定的情况下, 其变比误差与它的二次负担间的一些问题。

2.1 电流互感器的 10% 误差与最大短路电流

众所周知电流互感器的一次电流 I_1 折算成二次电流 I_1/K_i (K_i ——电流互感器的变比) 与二次电流 I_2 在一定范围内呈线性关系。当一次电流超过某一数值后, 由于电流互感器铁芯开始饱和, I_1/K_i 与 I_2 不再保持原线性关系。继电保护要求在最大短路电流通过电流互感器时 I_{kmax}/K_i 与 I_2 的误差不大于 10%, 这同时与电流互感器的二次负担 Z_{en} 有关。

$$m = \frac{I_1}{I_{1n}}$$

(I_{1n} ——电流互感器的一次额定电流), 保证电流互感器的变比误差不大于 10% 的前提下 m 与

Z_{en} 的关系曲线称之为电流互感器的 10% 误差曲线。现在系统短路容量剧增, 必然导致 Z_{en} 下降, 如果原先的 Z_{en} 维持不变, 则变比误差一定加大。

2.2 电流互感器的二次负担 Z 与电流互感器的接线、短路类型的关系

超高压线路保护、母线保护和变压器保护用的电流互感器的二次负担以及它们与短路类型的关系如表 1。

表 1 超高压系统中电流互感器 Z

	线路保护	母线保护	Y/ 变压器保护
三相短路	$Z = Z_L + Z_K$	$Z = Z_L$	$Z = 3(Z_L + Z_K)$
二相短路	$Z = Z_L + Z_K$	$Z = Z_L$	$Z = 3(Z_L + Z_K)$
单相短路	$Z = 2Z_L + Z_K + Z_{K0}$	$Z = 2Z_L$	$Z = 2(Z_L + Z_K)$

根据二次实测出的阻抗 Z_L 、 Z_K 、 Z_{K0} , 按最严重的短路类型换算成 Z , 用与之对应的最大短路电流求出 m , 在给出的电流互感器 10% 误差曲线上找出 Z_{en} 与之较, $Z > Z_{en}$ 满足要求。

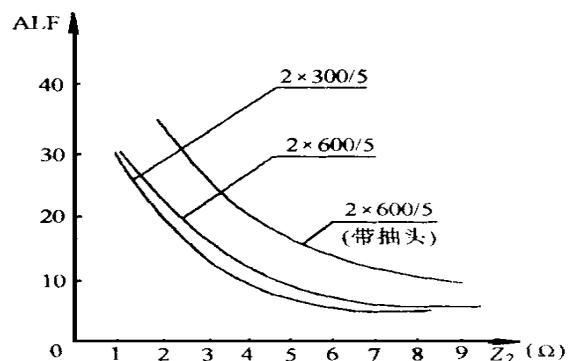


图 1 10% 误差曲线

如一台 220kV 独立式电流互感器, 型号为 LCWB-220(W), 变比 600/5, 该处最大三相稳态短路电流为 20kA, 最大单相稳态电流为 18kA。图 1 是它的 10% 误差曲线查出, 可得允许的 Z_{en} 为: 3.8 (2x600/5 带抽头), 实测 $Z_L = 1$, $Z_K = 0.1$, $Z_{K0} = 0.1$, 则 $Z = 3.3$ 。如不带抽头 2x600/5, Z_{en} 为 2.2, 那么 $3.3 > 2.2$ 。

3 电流互感器二次负担主要部分是二次电缆的阻抗

电流互感器的二次负担由连接电流互感器和保护装置的二次电缆、继电保护屏的继电保护装置及连接线以及端子的接触电阻等组成。从保护计算电流互感器二次负担的计算公式中可看出 Z_L 占很重要部分,同时它根据不同短路类型被放大了 2~3 倍。

超高压电厂、变电所的开关场到保护安装地往往相隔距离比较远,就以 220kV 的开关场而言,电流回路的电缆往往在 200m 以上,最长可达 400m。现以平均 300m、电缆截面 2.5mm^2 铜芯计算,则它的电阻为: $R = 2.148$; 如电缆截面为 4mm^2 , 则 $R = 1.34$ 。

继电保护的阻抗也可粗略计算,微型、集成电路型保护电流回路阻抗很小。以微机保护计算,它的交流电流回路消耗小于 1VA ($I_H = 5\text{A}$), 那么它的阻抗约为:

$$R = \frac{VI}{I^2} = \frac{1}{5^2} = \frac{1}{25} = 0.04$$

分立元件电流回路的阻抗也不大,以晶体管保护为例,有一组电流回路中串入了 JJ-21 和 JZC-11, 它们的交流回路消耗伏安小于 5VA ($I_H = 5\text{A}$), 那么两者相串总的阻抗:

$$R = 2 \times \frac{5}{5^2} = 0.4$$

两者相差 10 倍,但即使用 0.4, 它与前面电缆的 R 相比也可看出继电保护装置的阻抗占电流互感器二次负担中的比例不大,不超过 15%, 特别是在使用微型或集成电路型保护时所占比例更小。笔者曾在现场实测过数次,也证明如此。也就是说,电缆阻抗占电流互感器二次负担的绝大多数,尤其前面已谈到,它在系统故障时还要被放大数倍,更显得突出。

4 减小电流互感器二次回路负担的措施

4.1 用微型、集成电路型保护

选用微型、集成电路型线路保护、母线保护对减小电流互感器二次负担虽不十分明显,但相对整流型保护却减小不少,尤其对变压器保护减小很多。Y/Y 结线的 $Z = 3(Z_L + Z_K)$, Z_K 减小, Z 就减小较多;母差保护可选用带比率制动特性的中阻抗型母差保护。

4.2 增加电流回路电缆截面是明显减小电流互感器二次负担的方法

超高压电网中的继电保护电流回路电缆往往都很长,用 2.5mm^2 截面显然不够,应该按下列公式进行计算选取截面:

$$S = \frac{K_1 L}{r(Z_{en} - K_2 Z_2 - Z_3)}$$

S ——截面, mm^2

r ——铜电导系数, $57\text{m}/\text{mm}^2$

Z_{en} ——由电流互感器 10% 误差曲线查出的允许二次负担,

Z_2 —— $Z_K + Z_{K0}$

Z_3 ——接触电阻,取 $0.05 \sim 0.1$

L ——电缆长度, m

K_1 ——电缆的阻抗换算系数

K_2 ——继电器的阻抗换算系数

表 2 K_1 、 K_2 换算系数

K_1/K_2	线路保护	母线保护	Y/ 变压器保护
单相短路	2/1	2/0	2/2
二、三相短路	1/1	1/0	3/3

计算 S 时,一般按最大短路电流求得 Z_{en} , K_1 、 K_2 均选用最严重的情况(即大者),计算出的 S ,一般取向上标准电缆截面。

以变压器差动结线 侧为例: $K_1 = 3$, $K_2 = 3$, $Z_{en} = 2.4$, $Z_2 = Z_K + Z_{K0} = 0.1$, $L = 300\text{m}$, $Z_3 = 0.1$, $r = 57$, 则

$$S = \frac{3 \times 300}{57(2.4 - 3 \times 0.1 - 0.1)} = \frac{900}{57 \times 2} = 7.89\text{mm}^2$$

选用 8mm^2 芯线电缆

但也不宜超过 6mm^2 , 而即使是 6mm^2 截面保护屏上端子已难接入。一般用 4mm^2 或二根 2.5mm^2 的电缆两头均接至二端子排上,再并联接至保护和电流互感器为好。考虑到电网发展,在电网中心厂、所最大短路电流宜采用断路器的额定断路容量为好,电流互感器变比选用 $1200 \sim 1250/5$ 较好。

4.3 当 Y0/Y0/、Y0—Y0/ 以及 Y0—Y0/Y 结线的变压器使用微机变压器保护时,其电流互感器二次可采用全星形结线,以降低它的二次负担

Y0/Y0/ 或 Y0—Y0/ 结线的变压器的差动保护为了消除一次接线产生的角差,它们的电流互感器二次接成 / / Y0。Y0—Y0/Y 接线的变压器二次电流虽无上述角差,但此种变压器由于使用普

通的变压器纵差保护三侧电流互感器二次也必须接成 接线,以消除区外接地短路时由于零序电流在差回路中不能平衡而造成纵差保护误动作。如以上三种类型变压器的纵差保护的电流互感器二次都接成的接线,那么 2.2.3 已指出它的负担增加了 3 倍,即 $Z = 3(Z_L + Z_K)$,这样势必更要加大电流回路电缆截面,有时成为不可能。当采用微机变压器保护时上述两个问题均可比较方便地在差动保护软硬件中解决,如用:

$$i_A = i_a - i_b \quad i_B = i_b - i_c \quad i_C = i_c - i_a$$

因而三侧电流互感器二次均可接成全星形接线,从而相间短路时它的负担由 $Z = 3(Z_L + Z_K)$ 近似变成 $Z = Z_L$

4.4 将电流互感器同变比、同特性的二次线圈串接使用可减轻其二次负担

采用电流互感器同变比、同特性的二次线圈串接可将其二次负担减小 1/2,使它的允许二次负担增加 1 倍。现以图 2 示的接线三相短路进行比较。

$$U_a = I_a(Z_L + Z_K)$$

一组二次线圈二次负担为:

$$Z = \frac{\frac{1}{2} U_a}{I_a} = \frac{Z_L + Z_K}{2}$$

这种方法可有效减轻其二次负担。

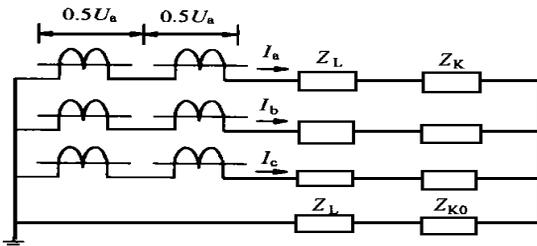


图2 电流互感器二次线圈串接

但是过去使用的 220kV 电流互感器的二次绕组一般只有 4 组,分别用做:线路保护二组、母差保护一组、表计一组,无法实现这种同变比、同特性的二次线圈串接。对于一些型号有五组的电流互感器尚有备用绕组,就可使用这种串接法减轻其二次负担。

4.5 选用二次额定电流为 1A 的电流互感器

在电流互感器一次额定电流相同的前提下,二次额定电流由 5A 改为 1A,则 K_i 就相当于增大了 5 倍,其二次允许负担 Z_{en} 必然增加较大,这样其二次电缆截面可以减小,也可以说在电缆截面相同的情况下,减小了电流互感器的二次负担。这种方法只

有在新建工程中采用比较合适,对于扩建、技改工程因涉及全变电所(站),一般都不选用此法。

5 增大电流互感器变比以提高其二次负担能力

电流互感器变比越大,其伏安特性越高,即铁芯不易饱和。从 10% 误差曲线上也可看出,当 K_i 愈大, I_{kmax}/K_i 愈小, Z_{en} 则变大。所以当系统短路容量增大到一定程度,而电流互感器变比尚可以调大时,往往用增大电流互感器变比来提高其二次负担能力。如将电流互感器的变比由 600/5 调成 1200/5,在调大变比时应该注意以下一些问题:

5.1 处理好表计变比与保护变比的关系

独立式电流互感器的变比调整往往是通过一次的串、并联来调整的,也就是说用一次方法调整后,其二次的几组绕组的变比亦同时得到调整。保护是防止在故障时稳态误差超过 10% 而引发保护不正确动作,而表计是计量正常情况下的有、无功电流、电量等,其误差应小于 0.5%。众所周知无论是电流互感器还是各种交流表计,在低电流情况下误差都较大,这必然影响到运行和计费,特别是一些专供用户的线路其计量直接影响到系统和用户的利益。有的电流互感器的付绕组中有 1~2 组可以通过该二次抽头调整变比(往往设在表计回路的一组),这样可通过它将表计这组变比再降下来,但一般不能调到原先选择表计最好的变比位置,变比调整后,表计的比例系数亦应相应调整。有时为了表计的精确度等,也有的在这组二次绕组中加一组辅助变流器,如图 3,将由于增大了电流互感器变比而减小的二次电流恢复到原先水平,它实际上是一升流变。

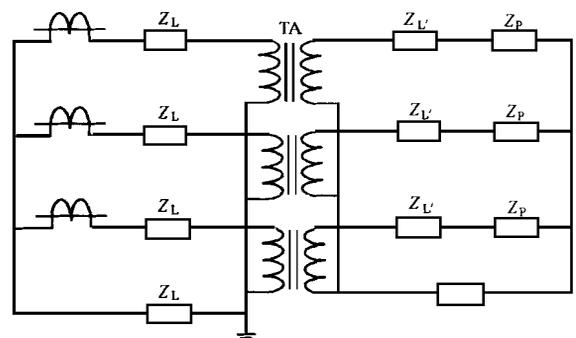


图3 有变流器二次负担

T_A ——变流器,其一次线圈 W_1 ,二次线圈 W_2

Z_P ——表计阻抗 Z_L ——二次电缆阻抗

Z_L' ——辅助变流器后的连接导线阻抗

那么电流互感器的二次阻抗为：

$$Z = Z_L + K_{i2}^2 (Z_P + Z_L) \quad K_{i2} = \frac{W_1}{W_2}$$

由于升流, $W_1 > W_2$, $K_{i2} > 1$, 因此现在的 Z 大于原 Z , 且随 K 平方变化。电流互感器的误差与其二次负担有直接关系, 随 Z 增大而增大。为减小 Z , 只有减小 Z_L , 最好为零。因为 K_{i2} 、 Z_P 都是必须而又基本固定的。从上分析可知, 辅助变流器应装于室内表计的附近最好。

5.2 要考虑对保护灵敏度的影响

电流互感器变比增大, 其一次定值不变, 那么二次定值必然减小, 但值得注意的是：

5.2.1 对线路保护影响

现在线路保护装置的一些启动、闭锁等定值是按电流互感器二次电流的额定值的 0.1、0.2、0.3 I_H 标定的。如 LFP-901 的启动元件、方向保护的相电流差突变量选相元件、工频变化量方向元件等等。那么随变比增大, 这部分亦应调整。但是对于长线路或多回路并联以及环网, 在变比增大前灵敏度已显不足, 整定在较小, 甚至最低位置, 现在就更困难了, 必须妥善解决。涉及到一条线路两端变比不一, 相距甚大, 如一端 600/5, 另一端 1200/5, 对高频保护启动值等有一定影响, 尤其对相差保护影响很大, 可能造成一端能操作, 一端不能操作的情况。那么最好在变比大的一端暂时在室内加装辅助流变, 消除变比增大的影响。

5.3 对变压器差动保护的影响

变压器各侧原有的电流互感器变比构成的变压器差动保护由于高压侧变比增大, 必然破坏了原有平衡, 要重新进行计算, 甚至要调整辅助变流器的装设。同样在考虑辅助变流器的装设时要和 5.1 提到的一样, 要使 Z 尽可能接近 Z , 甚至小于 Z , 也就是说应优先考虑辅助变流器应按降流装设, 使 $K_{i2} = W_1/W_2 < 1$ 。有的用与一组备用的电流互感器并联来消除由于变比增大给差动保护带来的影响。我们以图 4 所示来分析一下是否合适, 为分析方便以星形接线三相短路为例。

从上式可知: 当采用两只同变比、同特性的电流互感器并联方法时, 使每只电流互感器的二次负担不但没有减小, 反增大了一倍。当然由于变比增大,

Z_{en} 也相应增大, 但也不一定是成倍增大。因此这种办法是不可取的, 与要防止因电流互感器二次负担过重而引起保护不正确动作初衷正好相反。

$$U_a = I_a (Z_L + Z_K)$$

每只电流互感器二次负担为：

$$Z = \frac{U_a}{1/2 I_a} = 2(Z_L + Z_K)$$

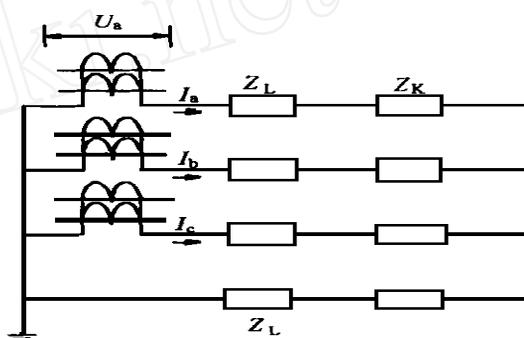


图 4 二次线圈并联负担

6 结束语

电流互感器是供给继电保护进行判断电力系统正常与故障数据的源泉之一, 它的误差直接影响继电保护的動作效果, 它的稳态误差与系统短路电流水平和其二次负担等有直接关联。但这些往往被忽略, 特别是目前使用集成电路型、微机型继电保护往往误认为二次负担减小很多, 更不引起人们重视, 许多应该进行的二次负担测量工作被省略了。随着系统的发展, 超高压电网联系紧密, 大机组投入很多, 短路容量增加, 这方面问题更加显得突出, 因此要用增大电流互感器变比、研究电流互感器二次接线、适当增加电流互感器二次电缆截面等办法来减轻电流互感器二次负担, 给继电保护正确动作创造必要条件。在采用这些方法时各有一些问题需要考虑, 应综合平衡解决。我们在这方面进行过一些研究和实施, 提出供大家参考, 也希望多交流这方面情况。

收稿日期: 1998-08-31; 修订日期: 1998-09-22

作者简介: 吴运祥(1936-), 男, 教授级高工, 长期从事继电保护工作; 吕军梅(1968-), 女, 工程师, 从事继电保护工作; 孙月琴(1964-), 男, 工程师, 从事继电保护工作。

INCREASING THE CHANGE RATE OF CT TO DECREASE THE SECONDARY LOAD OF CT

WU Yun-xiang, LU Jun-mei, SUN Yue-qin

(Anhui Electric Power Dispatch Centre, Hefei 230061, China)