

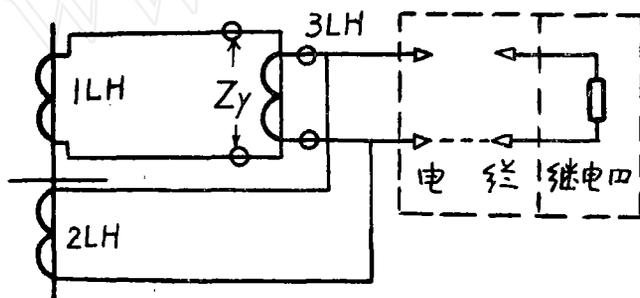
母差保护若干问题的探讨

朝阳发电厂 安志国

目前,用于电源容量较大系统中的母差保护比较薄弱。主要薄弱之处有二:一是阻抗匹配问题,二是中间电流互感器参数问题。由此可能引起的后果,或是发生穿越性故障时误动,或是内部故障时拒动,或是二者兼而有之。因此笔者根据工作经验提出几点不成熟的见解,以引起有关部门对各个问题的重视,使母差保护早日完善。

一、关于阻抗匹配问题

从阻抗匹配的观点来看,母差保护由主电流互感器 $1LH$ 、 $2LH$ 、中间电流互感器 $3LH$ 、连接电缆、继电器(装置)等环节组成,如图一所示。



图一

阻抗匹配的第一个问题是应设法降低中间电流互感器负担。实践表明,这是阻抗匹配的主要矛盾。

由图一可以看出,如果忽略 $1LH$ 连接电缆阻抗、 $3LH$ 漏抗,那么 $3LH$ 原边感受阻抗 Z_Y 就是 $1LH$ 的负担。因此应该设法降低 Z_Y 值,以期获得同时降低主、辅(中间)电流互感器负担的一箭双雕的效果。

与中间电流互感器负担有关的因素之一,是其配置方式问题。其理由是:将电流比为 K 的电流互感器付边负荷阻抗 Z_F 折算为原边阻抗 Z_Y ,应按

$$Z_Y = \frac{Z_F}{K^2} \quad (1)$$

计算。若 $K > 1$, 则 $Z_Y < Z_F$, $K < 1$, 则 $Z_Y > Z_F$ 。由此可见,为了降低 Z_Y 值,应

采用电流比大于一的中间电流互感器，将其配置在主电流互感器电流比较小的差动臂中。这种配置方式与相反情况比较，前者 Z_Y 值比后者缩小了 K^4 倍。如果从分析电流互感器误差的观点来看，需要用其原边电流与 Z_Y 的乘积，即以电压进行比较。这样，前者 Z_Y 值相当于比后者缩小了 K^3 倍，因为前者通过的电流是后者的 K 倍，对于主电流互感器 $1LH$ 而言，其负担也近似于缩小了 K^3 倍。

这里，需要提出这样一个问题：是在若干组电流比相同的支路中分别配置、还是将其并联后集中配置一组或二组中间电流互感器？从简单、紧凑的观点出发，答案应是后者。此时，中间电流互感器额定电流该按电源容量选择。

与中间电流互感器负担有关的因素之二，是其安装地点问题。

由于对差动保护应按最大穿越性故障电流来校验电流互感器误差，所以一般来说，中间电流互感器应安装在变电所的母差端子箱中。这样，当发生穿越性故障时，循环电流回路中的阻抗将不包括由变电所至控制室之间连接电缆的阻抗，既减轻了中间电流互感器负担，又可以减小电缆截面。

为了在内部故障时，保证中间电流互感器的准确度，应按下式计算由母差端子箱至控制室的电缆截面：

$$S = \frac{2l}{\left(\frac{0.8m Z_E I_{F.E}}{I_{Z.d}} - Z_Z \right) \times 57} \quad (2)$$

式(2)中：

- S ——电缆截面，平方毫米；
- l ——电缆长度，米；
- m ——饱和电流倍数；
- Z_E ——额定负担；
- $I_{Z.d}$ ——整定电流；
- Z_Z ——装置最大输入阻抗；
- 57——铜的电导系数。

式(2)来由如下：

从简单、实用的观点出发，可以按下列条件校验电流互感器误差：

$$0.8m Z_E I_{F.E} \geq \Sigma Z \cdot I_{Z.d} \quad (3)$$

式(3)中 ΣZ 表示由中间电流互感器付边端子起直至装置内的全部阻抗，如忽略阻抗角、接触电阻等，那么对三相式接线的大电流接地系统和两相式接线的小电流接地系统的母差保护而言， ΣZ 应等于连接电缆环路电阻 $2R$ 与装置输入阻抗 Z_Z 之算术和，即：

$$0.8m Z_E I_{F.E} \geq (2R + Z_Z) \cdot I_{Z.d} \quad (4)$$

所以

$$R = \frac{1}{2} \left(\frac{0.8m Z_E I_{F.E}}{I_{Z.d}} - Z_Z \right) \quad (5)$$

然后将公式

$$R = \frac{l}{rs} \quad (6)$$

代入式(5),即可导出式(2)的结果。

这里,需要指出的是:装置最大输入阻抗与其接线方式及故障类型有关。例如用于大电流接地系统的母差保护,通常在某一相(如A相)和另线回路各装一只断线闭锁继电器。对于这种方式而言,当A相发生单相故障时装置输入阻抗最大。目前由东北电力设计院设计、阿继生产的装置,该值高达2.4欧,而通常中间电流互感器负担仅0.4欧左右。为解决这个矛盾,建议将该值限制在0.5欧以内。其途径是设计阻抗低于0.1欧的整流型断线闭锁继电器,用以代替目前的阻抗高达1.1欧的电磁型继电器。

阻抗匹配的第二个问题是:在选择主电流互感器电流比时,应兼顾母差保护,其值应尽量大。这样一方面将由于减小电流比级别而相应减少中间电流互感器组数,使装置简化;另一方面,由于电流比的改变是通过增减原边匝数实现的,所以电流互感器饱和电流与电流比成正比,电流比越大,其容许负担相对越大,然而更重要的是:由于主电流互感器电流比增大后,其付边电流降低,因而就可以对中间电流互感器饱和电流倍数的要求成比例降低,这在电源容量较大时显得尤其重要。例如在地处电网末端、装有两台二十万千瓦机组、外路电流并非大的罕见(15Ka)的某发电厂,其66kV母差保护就曾被迫采取了这种阻抗匹配措施:原设计在一组300/5的电流互感器支路中,配置了中间电流互感器,计算表明,其原边最大电流为250安,原边负担0.15欧,估计其体积需增大4至5倍才能满足误差要求,从技术和经济观点来看,这样做是不合理的,所以将其电流比增加为600/5。这样可以与其它相同电流比的支路公用一组体积小得多的中间电流互感器。

这里,顺便指出这样一个问题:在某些情况下,增加电流比可能给测量带来困难。为了解决这个问题,可以在用于测量的电流回路中装中间电流互感器。这样做是合理的,因为这时可以按额定电流来要求其误差。

阻抗匹配的第三个问题是:在目前普遍采用的电流相位比较式母差保护中,母联开关的电流回路是独立的,但有些用户采用母联兼侧路开关的方式。这时,其独立的电流回路在其做侧路开关使用时,应能切换至差动回路中,构成单母线差动保护方式。为了在这种情况下满足阻抗匹配要求,切换后一般应安装在中间电流互感器所在处。否则,如果中间电流互感器安装在变电所母差端子箱中,而切换后安装在控制室的保护屏中,则当母联开关所带线路发生故障时,中间电流互感器的负担增大为由变电所至控制室之间的连接电缆的阻抗,可能导致阻抗匹配不佳,造成保护误动作。

阻抗匹配的第四个问题是:中间电流互感器付边应有较高的励磁阻抗,以免在该差动臂无电源情况下发生内部故障时,与负荷并联的付边绕组分流过大,降低灵敏度。其计算方法是:

设励磁阻抗为 Z_m 的 N 组中间电流互感器与负荷阻抗 Z_L 并联,则根据并联回路中电流与阻抗成反比的关系,可知由此而使负荷电流产生的误差 δ 应为:

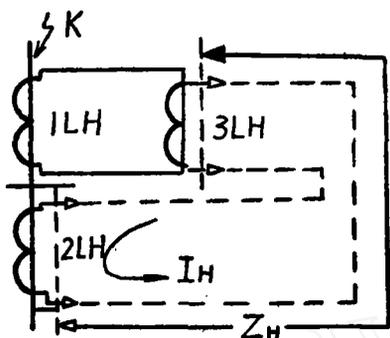
$$\delta = \frac{Z_F}{Z_L/N + Z_F} \times 100\% \quad (7)$$

由式(7)可得出

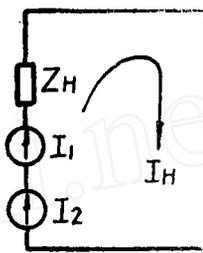
$$Z_L = \left(\frac{Z_F}{\delta} - Z_F \right) \cdot N \quad (8)$$

最后讨论一下如何校验电流互感器误差问题。

如前所述,母差保护中的电流互感器误差应按最大穿越性故障电流校验,由此可以画出图二和图三。图三中 I_1 、 I_2 分别表示与2.3 LH等值的电流源, Z_H 表示循环电流回路的阻抗。



图二



图三

由图三可知,每个电流源的负担为 $\frac{Z_H}{2}$,所以应按下列式校验2.3 LH的误差:

$$\frac{I_H}{I_N} \cdot \frac{Z_H}{2} \leq 0.8m Z_E \quad (9)$$

式(9)中:

I_H ——故障电流(最大)值;

I_N ——2.3 LH原边额定电流;

m ——2.3 LH饱和电流倍数;

Z_E ——2.3 LH额定负担。

1 LH的误差应按下列式计算:

$$\frac{I_F}{I_H} \cdot \Sigma Z \leq 0.8m Z_E \quad (10)$$

$$\text{式(10)中 } \Sigma Z = 2R + Z_{L.K} + \frac{Z_H}{2K^2} \quad (11)$$

式(11)中:

$2R$ ——1.3 LH之间连接电缆环路直流电阻;

$Z_{L.K}$ ——3 LH折算到原边的漏抗;

K ——3 LH电流比。

通过上述分析可以看出,之所以出现阻抗匹配问题,主要是因为中间电流互感器的存在。那么能否取消这个环节,使阻抗匹配问题大大简化,并且在经济、技术指标方面更加趋于合理?答案是肯定的,因为只要满足用于母差保护的电流互感器电流比相同的条件,就能达到这个目的。为此,要求装在同一壳体中的若干组电流互感器的电流比应有两种规格(目前产品只有一种)。其中一种按额定电流选择,用于元件本身保护和测量;另一种用于母差保护,其电流比均等于按额定电流选择的诸电流互感器中电流比的最大值。(饱和电流倍数、额定负担也应相同)笔者认为,这是改善用于较大电源系统中的母差保护性能的根本措施。

二、中间电流互感器参数问题

目前,不只在母差保护中,而且在大型变压器差动保护中,中间电流互感器往往是一个薄弱环节。用户曾发现过因此而造成的误动作现象。为解决这个问题,只好花费不少人力物力自制或改制中间电流互感器。现在,由于大机组的出现和电网容量不断增加,差动保护中的中间电流互感器已经成为一个急需解决的普遍问题。

中间电流互感器主要薄弱之处在于从前没有专用产品,而是以普通低压电流互感器代用。其额定负担,励磁阻抗、饱和电流倍数都很低。其次,由于设计者选择欠严格,也至匹配不佳的现象也是存在的。

为了消除中间电流互感器代用品的致命弱点,就有必要研制专用中间电流互感器。下面就如何确定其主要参数问题,谈几点看法。

中间电流互感器主要参数之一,是初级额定电流。考虑到可能有 N 个支路并联起来公用一组中间电流互感器,所以应有5安、10安两种规格。若需要大于10安者,可并联使用。

中间电流互感器主要参数之二,是折算到原边的漏抗。从减小主电流互感器负担和中间电流互感器体积的观点出发,应将该值限制在0.1欧以内。

中间电流互感器主要参数之三,是额定负担。如前所述,其值等于穿越性故障时循环电流回路中的阻抗的一半。后者近似等于图2a中2 LH与3 LH之间的连接电缆的单路直流电阻。考虑到将其中装有3 LH的母差端子箱置于适当位置,可以将该值限制在0.5欧以内。设电缆截面为2.5平方毫米,则与此相应的电缆长度为:

$$L = S R r = 2.5 \times 0.5 \times 57 \approx 71 \text{米}$$

由此可见,额定负担按0.5欧考虑是符合实际情况的。

中间电流互感器主要参数之四,是饱和电流倍数 m 。其值应按下式计算:

$$m = \frac{I_{P.Zd}}{K \cdot I_{Y.B}}$$

式(12)中: $I_{P.Zd}$ ——最大故障电流,安;

K ——(主)电流互感器电流比;

$I_{Y.B}$ ——中间电流互感器原边额定电流。

设 $I_{P.Z_i}$ 为 20000 安, K 值应与此相应, 因为 K 值越小主电流互感器饱和电流越小, 中间电流互感器 m 值越大。根据目前生产的 (主) 电流互感器规范计算, K 值应不小于 $600/5$ 。设 $I_{Y.E}$ 为 5 安, 则由式 (12) 求得 m 等于 33。

中间电流互感器主要参数之五, 是数值误差。如果这个指标仍按传统的 10% 误差来规定, 那么在整定计算中, 就要按主、辅电流互感器两个 10% 误差迭加起来考虑, 结果必将成为降低灵敏度。因此应将 10% 误差改为 1% 误差。但是, 对于 m 值较大者, 为了减小其体积, 可将误差放宽至 3%。

中间电流互感器主要参数之六, 是付边磁励阻抗。其值可按式 (8) 计算。根据经验, 取 $Z_F = 3$ 欧、 $N = 3$ 、 $\delta = 5\%$ 、由此求得 $Z_i = 171$ 欧。而通用电流互感器一般 Z_i 不大于 70 欧, 有时仅 10 欧左右, 分流作用很大。

此外, 尚有电流比等参数, 由于对其无特殊要求, 就不一一罗列了。