

几种母线保护差动继电器的比较

智全中¹,袁正华¹,宋小舟²,王东²

(1. 漯河电业局,河南 漯河 462000; 2. 许昌继电器研究所,河南 许昌 461000)

摘要: 差动继电器由于无可比拟的优点在电力系统尤其是母线保护中得到了广泛的应用,现在母线保护应用的差动继电器主要有:电流差动继电器、比率差动继电器、大电流范围制动继电器、复式比率差动继电器。本文就这几种差动继电器原理和特点进行分析和加以比较。

关键词: 母线保护; 差动继电器; 电流出

中图分类号: TM773; TM58

文献标识码: B

文章编号: 1003-4897(2001)05-0059-04

1 前言

母线是发电厂和变电所的重要组成部分。母线发生故障时,将造成发电厂和变电所停电,以致对电力系统的安全运行带来严重影响。因此根据不同母线方式装设适宜的母线保护,是保证电力系统安全运行的重要措施,本文着重就几种继电器的工作原理和特点进行分析和比较。

2 差动继电器的工作原理

1) 电流差动继电器

电流差动继电器是母线保护的一种最基本的继电器,它主要的原理依据是基尔霍夫电流定律。对于图1所示的母线系统,设母线上有 n 个联接元件,当系统正常运行或外部发生故障时,流入母线的电流和为零,即 $I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n = 0$,如果令 $I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n = I_d$,则 $I_d = 0$,我们把 I_d 称为母线保护的差动电流。当母线发生故障时,设流入故障点的电流为 I_k ,则 $I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n = I_k$,即 $I_d = I_k$ 。如果电流 I_d 大于母线保护的動作电流时,母线保护动作,将联结在母线上的断路器跳开。

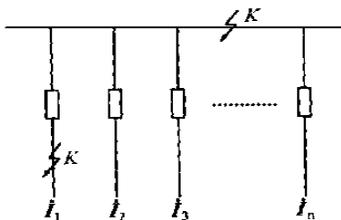


图1

电流差动继电器动作方程为:

$$|I_d| > I_{dz} \quad (1)$$

其中 I_{dz} 为起动元件的動作电流,它的整定原则为避越母线外部短路时的最大不平衡电流和最大容

量的连结元件的负载电流。

由于电流差动继电器不需要和其他保护装置相配合,可以正确区分内部和外部故障,因此它是一种可瞬时动作和可靠的母线保护方式。其中FB-1型速饱和电流继电器和BCD-2型电流差动继电器曾在电力系统中广泛地应用。

2) 比率差动继电器

以上分析可知,当电力系统运行方式变化较大时,电流差动继电器的灵敏度将受到影响,如果能使电流差动继电器的動作电流随外部短路电流的变化而变化,那母线短路时继电器将会有较高的灵敏度,为此引入比率制动概念。其动作方程为:

$$|I_d| > I_{dd} \quad (2)$$

$$|I_d| > KI_f \quad (3)$$

式中 I_d 为某一时刻差动电流瞬时值, I_f 为同一时刻制动电流瞬时值, K 为比率制动系数, I_{dd} 为差动电流整定门坎。

$$I_f = \sum_{i=1}^n |I_i| \quad I_d = \sum_{i=1}^n I_i$$

由于比率差动继电器在母线区内故障时有较高的灵敏度,在区外短路时有较强的制动特性,因而在电力系统得到广泛的应用,并且具有了成熟的运行经验,电力系统用户非常容易理解和接受,如许继公司的JMH-1型中阻母线保护和WMH-100型微机母线保护都为比率制动型,在电力系统也得到广泛应用。

3) 大电流范围制动继电器

为了提高比率差动继电器在小电流范围的安全性,比率差动继电器动作方程修改为:

$$|I_d| > I_{dd} \quad (4)$$

$$|I_d| > K[I_f - I_s] + \quad (5)$$

上式(5) $[I_f - I_s] +$ 表示当括号内的值大于零时取该项值,否则该项值为零,因此只有当 I_f 大于

一定的数值 I_s 时比率制动才起作用,当 I_f 小于 I_s , 此时动作方程与电流差动继电器一样。

4) 复式比率差动继电器

比率差动继电器在母线内部短路时,继电器中存在制动电流,为了提高继电器灵敏度,希望降低内部短路时的制动电流。复式比率差动继电器正是基于这种考虑,其动作方程为:

$$|I_d| > I_{dd} \quad (6)$$

$$|I_d| > K_c [I_f - |I_d|] \quad (7)$$

其中 K_c 为复式比率差动继电器的制动系数。理想条件下,母线外部短路时,差动电流为零,式(7)左侧接近等于零;母线内部短路时式(7)右侧接近等于零,此时 K_c 趋近于无穷大。

据式(7)和式(3)不难整理得式(8):

$$K = K_c / (1 + K_c) \quad (8)$$

由式(8)可知,比率差动继电器转换为复式比率差动继电器,实际上是将变化范围有限的制动系数 K 用一个变化范围无限的 K_c 来代替。

值得注意的是,上式是在理想状态下得出的结论,我们如果考虑内部短路时电流相位不等的情况。对于一条母线,将引入线分为两组,假设这两组电流之和相等,相位差为 60° ,则

$$|I_d| > 0.866 I_f \quad (9)$$

将式(9)代入式(7)得 K_c 的最大允许值为 $K_{c,max} = 6.46$,所以即使是单母线接线, K_c 也不应取很大的值,换句话说 K_c 其实也有一定的范围。

3 差动继电器母线保护特性的分析

为了判别母线保护在外部短路时的选择特性,一般采用比率差动特性法作为分析方法,该方法假设母线一个元件的电流自母线流向线路,而其它各元件的电流则自线路流向母线,二者相位差为 180° 。这一假设和母线外部短路的情况相符合。下面基于这一假设对各种继电器的特性进行分析:

1) 电流差动继电器

根据式(1),由于 $I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n = I_d$,为了分析方便,设 I_1 发生外部短路,其电流自母线流向线路,电流 $I_2, I_3, I_4, \dots, I_n$ 自线路流向母线,如设

$$I_a = I_1$$

$$I_b = I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

则电流差动继电器动作方程改写为:

$$|I_a + I_b| > I_{dz} \quad (10)$$

在发生外部短路时, I_a, I_b 相位差为 180° ,因此式

(10)可表示为:

$$|I_a - I_b| > I_{dz} \quad (11)$$

当 $I_a > I_b$ 时,可得

$$I_a > I_b + I_{dz} \quad (12)$$

当 $I_a < I_b$ 时,可得

$$I_b > I_a + I_{dz} \quad (13)$$

根据式(12)和(13)在 I_a 和 I_b 的直角坐标系上,可作出两条平行直线(C、D如图2),其为电流差动继电器的动作特性线。电流差动继电器的动作区域为直线的上部和下部图示的阴影部分,直线斜率 $\tan \alpha = 1$ 。在图2中,经过原点作一条斜率为1的直线OA,则OA表示 $I_b = I_a$,也就是外部故障时母线流入和流出的电流相等。再经过原点作一条直线OB ($I_a = 0.9 I_b$),其表示电流互感器的误差为10%的直线。经过分析图2可知,直线D和OB会有一点相交,也就是说当电流互感器存在10%误差时,电流差动继电器将会误动作。

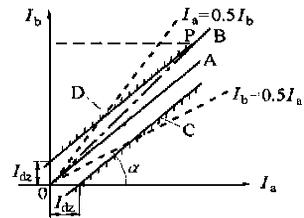


图2

另外,如果母线短路时有50%的电流流出,此时 $I_a = 0.5 I_b$ 或 $I_b = 0.5 I_a$,在图2上分别作出两条50%电流流出线,不难发现电流流出线在电流不大时即和电流差动继电器动作线相交。可见电流差动继电器不适用于有较大电流流出的母线系统。

2) 比率差动继电器

比率差动继电器的动作方程如式(3)。为了提高继电器动作的可靠性,比率差动继电器设置一小门槛 I_{dz0} ,动作方程为:

$$I_d > K I_f + I_{dz0} \quad (14)$$

根据 I_d, I_f 的定义,基于我们以上的假设,其可改写为

$$|I_a - I_b| > K(I_a + I_b) + I_{dz0} \quad (15)$$

若 $I_a > I_b$,经整理可得:

$$I_a > [(1 + K)/(1 - K)] I_b + [1/(1 - K)] I_{dz0} \quad (16)$$

若 $I_a < I_b$,经整理可得:

$$I_b > [(1 + K)/(1 - K)] I_a + [1/(1 - K)] I_{dz0} \quad (17)$$

以 I_a 为横坐标, I_b 为纵坐标,作出50%的电流流出

线、10%电流互感器误差线和比率差动继电器的动作线如图3($K=0.33$)。由图3可知,保护的動作线不易和10%误差线相交,继电器的动作线和50%电流出线平行,因此此类继电器有较好抗CT误差能力,并且适用母线短路电流为50%的情况。在图3中,我们取 $K=0.33$,若增大 K 的数值,例如取 $K=0.5$,则图3变为图4,由图4可知此时继电器的动作线和50%的电流出线相交,也就是继电器电流出为50%时会误动。因此不同的制动系数对应于不同的电流出数值。

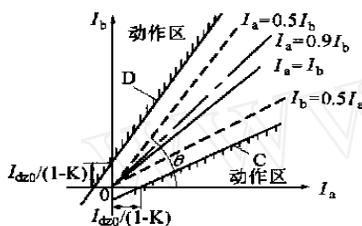


图3

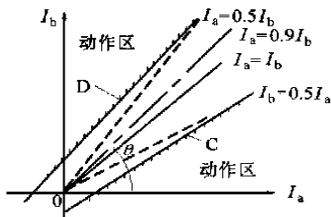


图4

外部故障时,故障支路CT可能产生较大的误差而引起不平衡电流,假设其误差比率为 δ ,根据制动继电器的方程可得:

$$[\delta / (2 - \delta)] < K \tag{18}$$

因此不同的制动系数也对应于不同的允许CT误差。

由此可以看出,给定比率制动系数 K ,要保证比率差动继电器正常工作,内部故障流出母线的电流及外部故障时允许故障支路CT误差值都有一极限值。表1列出典型制动系数的对应的极限值。

表1

比率差动继电器		大电流范围制动继电器		复式比率差动继电器	
制动系数	电流流出比 (%)	允许CT误差 (%)	制动系数	电流流出比 (%)	允许CT误差 (%)
0.3	53.8	46.2	0.3	53.8	46.2
0.4	42.8	57.2	0.4	42.8	57.2
0.5	33.3	66.7	0.5	33.3	66.7
0.6	25	75	0.6	25	75
0.7	17.6	82.4	0.7	17.6	82.4
0.8	11.1	88.9	0.8	11.1	88.9

3) 大电流范围制动继电器

大电流制动继电器的动作方程如式(5),当 $I_f < I_s$ 时,相当于电流差动继电器,其动作方程为:

$$|I_a + I_b| > I_{dz} \tag{19}$$

当 $I_f > I_s$ 时,相当于比率差动继电器,其动作方程为:

$$|I_a - I_b| > K[(I_a + I_b) - I_s] + I_{dz0} \tag{20}$$

若 $I_a > I_b$,经整理可得:

$$I_a > [(1 + K)/(1 - K)] I_b + [1/(1 - K)] (I_{dz0} - K * I_s) \tag{21}$$

若 $I_a < I_b$,经整理可得:

$$I_b > [(1 + K)/(1 - K)] I_a + [1/(1 - K)] (I_{dz0} - K * I_s) \tag{22}$$

以 I_a 为横坐标, I_b 为纵坐标做特性线如图5,由特性线可知,大电流范围制动的动作特性为折线,从而,在小电流范围内,继电器动作线离50%电流出线和10%电流互感器误差线更远,继电器在小电流范围内具有较高的安全性。在大电流条件下,其动作特性线的斜率和比率差动一致,当 $K=0.33$ 时,大电流范围制动继电器的特性线和50%电流出线平行,因而此类继电器也可用于有较大电流出流的情况。

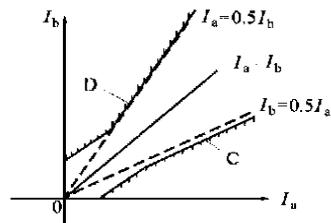


图5

大电流比率制动继电器给定比率制动系数 K ,要保证比率制动继电器正常工作,内部故障流出母线的电流及外部故障时允许故障支路CT误差值也都有一极限值(表1)。

4) 复式比率差动继电器

复式比率差动继电器的动作方程如式(7),同样我们也设置一门槛,动作方程为:

$$|I_a - I_b| > K[(I_a + I_b) - |I_a - I_b|] + I_{dz0} \tag{23}$$

若 $I_a > I_b$,经整理可得:

$$I_a > (2K + 1) I_b + I_{dz0} \tag{24}$$

若 $I_a < I_b$,经整理可得:

$$I_b > (2K + 1) I_a + I_{dz0} \tag{25}$$

以 I_a 为横坐标, I_b 为纵坐标做特性线如图6,其动

作特性线和比率制动一致,当 $K=0.5$ 时,特性线和 50% 电流流出线平行,因而此类继电器也可用于有较大电流流出的情况。

外部故障时,故障支路 CT 误差比率为 ,根据复式比率差动继电器的方程,要保证继电器正常工作:

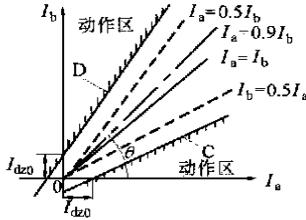


图 5

$$[I_b / (2 - 2)] < K \quad (26)$$

因此复式比率差动不同的制动系数也对应于不同的允许 CT 误差(表 1)。

4 差动继电器性能的比较

对于传统的母线保护,当我们选择保护原理时,不但要考虑保护原理,还要考虑母线接线的复杂性。对于微机母线保护来说,母线的接线不再是问题,因为所有的保护原理都是靠软件来实现,再复杂的保护实现起来也不存在什么困难,因此保护原理的先进和完善是母线保护首要考虑的要素。

电流差动继电器由于 CT 误差较大时存在误动的可能性,并且不适用有电流流出的场合,因此它的应用范围有限,笔者认为在新开发保护时,它不再为一种合适的继电器。

比率差动继电器、大电流范围制动继电器、复式比率差动继电器都适用电流流出 50% 的场合,并且

外部故障时允许有较大的 CT 误差。通过表 1 分析可知,在同样的制动条件下比率差动继电器、大电流范围制动继电器有相同的电流流出和允许 CT 误差的极限值,但大电流范围制动继电器的优点在于小电流的安全性,虽然这种优点并不明显。复式比率差动继电器根据其不同的制动系数,可以找到和比率差动相对应的系数,表 1 即为对应系数,从表 1 可知,在相同条件下,复式比率差动继电器允许电流流出和允许 CT 误差的极限值与比率差动继电器相同。也就是说复式比率差动继电器和比率差动继电器有相近的性能。

5 结论

比率差动继电器、大电流范围制动继电器、复式比率差动继电器具有相同的允许 CT 误差能力,都适用有 50% 的较大电流流出的情况。因此它们不仅适用于单母线、双母线等基本母线接线形式,而且适用于环行母线和 1 个半开关接线等有电流流出的母线接线方式,是电力系统值得推广的母线保护继电器。

参考文献:

- [1] 王春生,等. 母线保护. 中国电力出版社,1997,10.
- [2] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术. 中国电力出版社,1995,8.

收稿日期: 2000-09-01 改回日期: 2000-10-11

作者简介: 智全中(1969-),男,本科,工程师,研究方向为微机继电保护; 袁正华(1968-),男,本科,工程师,研究方向为微机保护的抗干扰措施。

Analysis of some differential relays for busbar protection

ZHI Quar-zhong¹, YUAN Zheng-hua¹, SONG Xiao-zhou², Wang Dong²

(1. Luohe Power Bureau of Henan Province, Luohe 462000, China

2. Xuchang Relay Research Institute, Xuchang 461000, China)

Abstract: Differential relays are widely used in power system, especially in busbar protection. Some main differential relays which are used in busbar protection at present include current differential relay, ratio check differential relay, strong current check differential relay and complex percentage differential relay etc. Their principles and characteristics are analyzed and compared in this paper.

Keywords: busbar protection; differential relay; outflow of bus current