

# 多段式微机差动保护

朱声石

(电力自动化研究院,江苏南京 210003)

**摘要:** 评论了各种微机差动继电器,在此基础上拟定了多段式微机差动继电器的方案,并讨论内部故障时的灵敏度问题。

**关键词:** 差动继电器

**中图分类号:** TM771

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1003-4897(2001)03-0001-06

差动继电器有多种类别。机械型差动继电器只能按一种原理实现,用一个动作判据描述其性能,性能单一,难以适应各种运行工况。在微机保护中继电器是由软件实现的,完全可以根据不同工况采用不同原理,以获得最佳性能。因此应对各种原理进行总结,兼收并蓄它们的优点,探索微机差动保护的方案。

## 1 对现有差动保护原理的评价

### 1.1 电流差动继电器

规定各引线电流的正方向为流向被保护设备,设引线的总数为  $n$ ,则电流差动继电器的动作判据为

$$I_d > I_0 \quad (I_d = \sum_{j=1}^n I_j) \quad (1)$$

式中  $I_0$  为启动电流的定值。

电流差动继电器最简单,依靠提高启动电流的定值避开最大不平衡电流,作为变压器的速断差动保护获得应用。机械型继电器动作慢整定  $I_0 = (3.5 \sim 4) I_n$  便足以避开变压器的励磁涌流(本文不讨论鉴别涌流的问题),微机保护动作快,需整定  $I_0 = (6 \sim 8) I_n$  方可避开励磁涌流。在变压器高压引线发生故障时短路电流很大,电流互感器可能严重饱和,二次电流波形发生缺损,鉴别涌流的判据可能将灵敏的比率差动继电器误闭锁。速断差动保护定值高,受波形影响小,对此严重故障仍能快速动作,保证系统的稳定,因而获得应用。

在各引线电流都小于  $I_n$  时各侧电流互感器的误差很小,可以整定  $I_0 = 0.3 I_n$ ,用以切除内部轻微故障。但需要指出提高保护的灵敏度对提高在严重故障时保护的动作速度作用不大,况且严重故障并不都是由轻微故障发展而来的。提高差动保护的灵敏度仍然会发生严重烧毁设备的事故,提高灵敏度

对反应轻微故障肯定是有益的,但是灵敏度的提高会降低安全性也是不容置疑的,过去机械型继电器的固有动作时间便有  $80 \sim 100\text{ms}$ 。微机保护的动作时间小于  $30\text{ms}$  是很容易做到的,外部故障时的差动不平衡电流并不是在短路后立即出现的。在数据窗中的数据都是故障后的数值时如果出现短暂的暂态不平衡电流,差动保护是很容易误动作的,另一方面主设备的轻微故障虽然可以发展为严重故障,但需要时间,因此将微机差动保护分为两段,灵敏段延时  $100 \sim 200\text{ms}$  动作(微机保护很容易实现)不失为较好的选择。

### 1.2 由速饱和变流器供电的差动继电器(BCH-1和BCH-2)

这种机械型差动继电器在我国曾获得广泛的应用,BCH-1的原理是继电器对输入电流交流分量的灵敏度随着直流分量的增加而降低。当直流分量达到和超过交流分量的最大值(即输入电流波形为单极性)时继电器不会动作。暂态短路电流中最大的直流分量可等于交流分量的最大值。电流互感器传变直流分量的能力逊于交流分量。即使在铁心尚未饱和,感应电势低于磁化曲线拐点电压的情况下,差动保护的暂态不平衡电流也远大于稳态不平衡电流,其特点是直流分量大于交流分量,波形呈单极性,并无谐波分量。BCH-1能有效地避开此种暂态不平衡电流。在整定计算时只需利用整定值避开稳态不平衡电流。在内部故障时如果短路电流中有直流分量,BCH-1的动作会有延时,但不会超过  $20\text{ms}$ 。发电机和变压器因绕组绝缘损坏而发生短路时一定是在电压瞬时值接近最大值时将绝缘击穿。在此情况下短路电流中的直流分量较小,BCH-1不会因此延长动作时间。BCH-1在我国曾获得的广泛的应用,有长期良好的业绩。

用速饱和变流器避开变压器的励磁涌流是勉强

而的。为了达到避开涌流的目的采取 BCH-2 加强直流分量对交流分量的抑制作用,但是仍需提高最小启动电流 ( $I_0 = 1.5 I_n$ ) 才能避开涌流。BCH-2 作为变压器差动保护既不灵敏,动作(受直流分量影响)又慢。淘汰 BCH-2 是应当的,但对 BCH-1 合理的地方应当继承,在微机保护中判断差动电流的极性是否交变可以采用以下的判据(称为直流闭锁),即

$$\frac{\sum_{j=0}^{N-1} i_{d(k-j)}}{\sum_{j=0}^{N-1} i_{d(k-j)}} > 1.1 \quad (2)$$

式中  $N$  为工频每周采样次数,上式要求数据窗为 20ms,在最不利的情况下动作延时 20ms。但在绕组绝缘击穿时直流分量很小,延时不超过 10ms。

此种差动继电器的缺点是只能依靠提高差动电流的启动值来避开稳态不平衡电流。

### 1.3 比率差动继电器

稳态差动不平衡电流是纯正的工频正弦电流。鉴别稳态不平衡电流的唯一正确方法是将它和穿越性的短路电流相比较,即以穿越性的短路电流为制动电流  $I_{res}$ ,使继电器的动作电流随制动电流的增加而增大。微机保护比率差动继电器由两个判据——差动电流判据和比率制动判据——组成。差动电流判据见式(1),不再讨论。比率制动判据有以下 2 种:

$$\text{判据之一 } I_d - k_{res} I_{res} > 0 \quad (3a)$$

$$\text{判据之二 } I_d - m(I_{res} - I_n) - I_0 > 0 \quad (3b)$$

式中  $I_d$  为差动电流,  $I_{res}$  为制动电流,  $I_0$  为差动电流定值,  $k_{res}$  为制动系数,  $m$  为斜率。比率制动判据的主要作用是使差动继电器避开外部故障时的稳态不平衡电流。为了简单起见本文仅讨论采用式(3a)的情况。制动电流的取法通常有

$$I_{res} = \dot{I}_1 - \dot{I}_2 / 2 \quad (4a)$$

$$I_{res} = I_{max} \quad (4b)$$

$$I_{res} = \sum_{j=1}^n I_j / 2 \quad (4c)$$

在外部短路时如果电流互感器无误差,以上 3 种取法的  $I_{res}$  都等于穿越性短路电流,因而长期以来认为  $k_{res}$  等于允许的最大误差。但是误差也使制动电流下降,分析在大误差下比率制动判据的特性时就不能简单地认为  $k_{res}$  就代表允许的最大误差。按照定义,电流互感器的复合误差就是其励磁电流  $I_\mu$  的均方根值。在分析稳态误差时可近似用相量法。

在外部短路时假设  $\dot{I}_1$  无误差,  $\dot{I}_2$  的复合误差为(实际为两侧的相对误差)则  $\dot{I}_1$  和  $\dot{I}_2$  的相量如图 1 所示。于是可求得

$$\begin{aligned} I_d &= \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = I_1 \\ \dot{I}_1 - \dot{I}_2 &= \sqrt{4 - 3\delta^2} I_1 \end{aligned}$$

图 1 外部短路两侧电流的相量图

(1) 当引出线数为 2 时按式(4a)取  $I_{res}$  为好,此时有  $I_{res} = k_{res} / \sqrt{1 + 0.75 k_{res}^2}$  虽然按式(4b)取  $I_{res}$  有  $I_{res} = k_{res}$ ,但在单侧电源内部故障时前者的  $I_{res}$  仅为后者的一半。换言之按式(4a)取  $I_{res}$  时  $k_{res}$  可取得更大。

(2) 当引出线数很多时按式(4b)取  $I_{res}$  是不适宜的。因为在外部短路时故障引出线的电流最大,其电流互感器的误差也最大。如果其二次电流仍保持最大,那么以其为  $I_{res}$  失去的制动最多。此时很可能所有健全线的电流互感器因电流小而无误差,于是有  $I_{res} = k_{res} / (1 + k_{res})$ 。如果  $k_{res}$  很大,其二次电流将不可能保持最大。

当引出线很多时一般按式(4c)取  $I_{res}$  最简单,因而应用最多。假设故障引出线的电流为  $I_n$ ,所有健全线的电流和为  $\sum_{j=1}^{n-1} I_j$ 。最不利的情况是后者无误差 ( $\sum_{j=1}^{n-1} I_j$  相当于图 1 中的  $I_1$ ) 而后者的误差最大 ( $I_n$  相当于图 1 中的  $I_2$ )。按图 1 求得  $I_1$  和  $I_2$  代入式(4c)可求得  $I_{res} = 4 k_{res} / (4 + k_{res}^2)$ 。

总之,外部短路时计及误差使  $I_{res}$  减少后比率制动判据允许的误差都小于  $k_{res}$ 。按式(4b)取  $I_{res}$  相对于  $k_{res}$  下降最多。

为了保证在单电源内部故障时比率制动判据可靠动作,按式(4b)取  $I_{res}$  则必需满足  $k_{res} < 1$ ,而按式(4a)和式(4c)取  $I_{res}$  可放宽到  $k_{res} < 2$ 。在多引出线时按式(4c)取  $I_{res}$  比较方便,但如果能将多引出线转换为等效的 2 条引出线,并按式(4a)取  $I_{res}$ ,则在多电源内部短路时比按式(4c)取  $I_{res}$  能获得更大的

$$\frac{I_d}{I_{res}}$$

在内部短路时总有  $I_{res} > 0$ , 那么  $I_{res}$  的存在会不会降低保护的灵敏度? 问题不在于有无  $I_{res}$  而是能否满足  $\frac{I_d}{I_{res}} > k_{res}$ 。机械型差动继电器, 要求有剩余力矩以保证触点压力和提高动作速度, 而数字式继电器则否。即使数据窗中数据未被短路后的数据充满, 比率制动判据也能满足, 其动作速度是很快的。因此, 不应再用  $\frac{I_d}{k_{res} I_{res}}$  来校验内部故障时的灵敏度<sup>[1]</sup>。影响内部故障灵敏度的是有无流出电流或者说有无穿越性电流分量存在。这个问题在后面讨论。

#### 1.4 相差动继电器

按照电流互感器复合误差的定义, 如果忽略电流中谐波分量, 则复合误差就是励磁电流  $I_\mu$  与一次电流  $I_1$  之比,  $\epsilon = \frac{I_\mu}{I_1}$ ; 而相位误差则为  $\alpha = \sin^{-1} \epsilon$ 。可见当  $\epsilon = 0.8$  时,  $\alpha = 53^\circ$ , 外部短路时两侧二次电流的相对相位差更小。因此相位比较差动继电器可以容忍很大的误差。为了简化讨论假设只有 2 条引出线, 令  $\alpha$  为两侧电流的相位差, 相差动继电器的动作条件为

$$90^\circ > \alpha > -90^\circ$$

上式完全等价于

$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 > \dot{I}_1 - \dot{I}_2 \quad (5)$$

外部短路时允许相对相位差为  $90^\circ$ , 选择性是绝对有保证的。与式(4a)比较可见式(5)相当于取  $k_{res} = 2$ ,  $k_{res}$  这样大也说明选择性绝对有保证。但必定降低了在内部短路时的灵敏度, 例如, 在内部短路时若两侧电源电势的相位差很大, 或有电流流出时继电器将拒动。此外, 相差动继电器还需解决一侧电流为零时的正确动作问题。

#### 1.5 标识制动差动继电器

早先提出的标识制动差动继电器的动作方程是:

$$\dot{I}_d + k I_1 I_2 \cos \alpha > 0$$

上式中第二项在外部短路时为负, 产生制动作用; 在内部短路时为正产生动作作用。内部短路时没有制动量被称为此类继电器的独特优点, 但细想就会发现在内部短路时可能有电流流出, 还要靠差动电流使继电器动作。

于是最近对标识制动差动继电器作了改进<sup>[3]</sup>。改进后的动作方程为

$$I_d - k \sqrt{-I_1 I_2 \cos \alpha} > 0 \quad (6)$$

当  $\cos \alpha > 0$  上式第 2 项为虚数时继电器立即动作;

当  $\cos \alpha < 0$  时如果满足  $I_1 > B I_n$  和  $I_2 > B I_n$  (一般取  $B = 1.5$ ) 则确认为外部短路, 否则按上式的比率制动差动继电器动作。

新型标识制动差动继电器的实质是先用相差动继电器再用比率差动继电器进行测量。从式(5)已说明相差动继电器乃是以式(4a)为制动电流, 并将制动系数提高到  $k_{res} = 2$  的极限值, 因而能可靠地避开外部短路时的不平衡电流, 另一方面认为内部短路可能流出的电流一般不会大于负荷电流, 如果满足  $I_1 > 1.5 I_n$  和  $I_2 > 1.5 I_n$  相差动继电器不动作就确认为外部短路, 不再继续进行测量。只有  $I_1 > 1.5 I_n$  和  $I_2 > 1.5 I_n$  不能同时满足时才降低制动系数, 进一步进行测量, 以期切除有电流流出的内部短路故障。由电流幅值控制先进行相位比较, 有效地避开了外部短路时的差动不平衡电流, 降低了对电流互感器误差的要求, 是这种继电器的优点。

遗憾的是该继电器为了维护标识制动之名, 在进行比率差动测量时以  $I_H = \sqrt{-I_1 I_2 \cos \alpha}$  为制动电流, 而不是用式(4a)或式(4c)的  $I_{res}$ 。

## 2 多段式微机差动继电器

外部短路时差动不平衡电流随短路电流的增大而增大, 因此利用两侧电流的幅值分段选择差动继电器的动作判据, 必将获得最佳效果。微机保护做到这一点是十分方便的。这就是多段式微机差动继电器。

首先, 当有几条引出线时应转变为等效的 2 条引线的情况, 其方法是从  $n$  个电流中挑出幅值最大者, 假设是  $I_n$ , 于是令  $\dot{I}_1 \leftarrow \dot{I}_j$  和  $\dot{I}_2 \leftarrow \dot{I}_n$ , 便可按式(4a)决定  $I_{res}$ , 按式(4a)和式(4c)取  $I_{res}$  相比, 虽然为避开外部短路时的不平衡电流  $k_{res}$  要取得稍大一些, 但在内部短路时得到的  $\frac{I_d}{I_{res}}$  要大得多, 在双侧电源供电发生内部短路时允许两侧流入的短路电流有更大的相位差, 所以按式(4a)取  $I_{res}$  更好。

图 2 示出多段式微机差动继电器的程序框图, 保护各段的作用说明如下:

1) 当两侧电流均小于  $I_n$  时采用最灵敏的电流差动判据,  $I_d > 0.3 I_n$  延时 200ms 出口。

2) 当两侧电流均小于  $1.5 I_n$  ( $I_n$  为电流互感器的额定电流) 时采用经式(2)直流闭锁的电流差动判据,但定值略高  $I_d > 0.5 I_n$ 。在单侧电源内部轻微故障的情况下,可能有流出电流。这样在满负荷的情况下电源侧电流就可能大于  $I_n$ 。此时本段保护可以快速切除此故障。还需指出,在绕组绝缘一定是在电压为峰值附近时被击穿,所以短路电流中的直流分量很小,直流闭锁判据在绕组故障时不会使保护延缓动作。

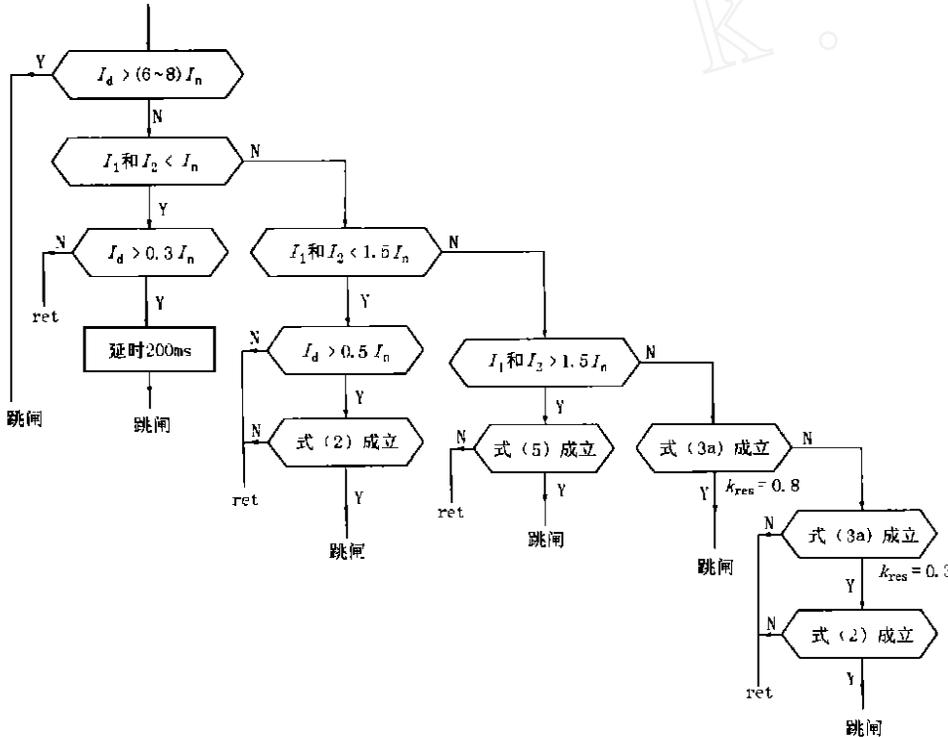


图2 微机差动保护程序框图

3) 当两侧电流均大于  $1.5 I_n$  时采用式(5)的相位比较判据,瞬时动作。相位比较相当于  $k_{res} = 2$  的比率制动判据,足以避开稳态及暂态不平衡电流。在内部短路时流出电流一般不可能大于最大负荷电流,所以只要没有流出电流,在内部短路时相位比较判据都能成立。

4) 当两侧电流中仅有一侧电流大于  $1.5 I_n$  时采用比率制动判据进行测量。在按电流幅值分段后,式(3b)和(3a)相比已无意义,故只采用式(3a)。式(3a)中取  $k_{res} = 0.8$ ,则允许误差  $\epsilon = 0.66$ ,式(3a)刚好成立的临界状态是  $I_1 = 2 I_n$ ,  $I_2 = 1.5 I_n$ 。电流互感器在  $I_1 = 2 I_n$  的条件下误差不可能达到  $\epsilon = 0.66$ 。

为了保证灵敏性再降低制动系数,取  $k_{res} = 0.3$ ,

但增加直流闭锁以提高安全性,当  $k_{res} = 0.3$  时允许误差为  $\epsilon = 0.3$ 。此时式(3a)刚好成立的临界状态是  $I_1 = 1.57 I_n$  的条件下误差不可能达到  $\epsilon = 0.3$ 。

再次强调,用比率制动判据进行测量是受到有一侧电流小于  $1.5 I_n$  的条件限定的。假设外部短路时  $I_1 = 5 I_n$ ,那么只有相对误差  $\epsilon = 0.95$  才会出现  $I_2 < 1.5 I_n$ 。因此,有了  $I_2 < 1.5 I_n$  的限制,在大电流下的允许误差要大得多。而在内部短路时只要流出电流小于  $1.5 I_n$ ,差动继电器都能动作。

5) 速断差动的定值高足以避开外部短路的稳态和暂态不平衡电流,所以可永远投入工作,但要求内部短路电流足够大才能动作。一般仅在变压器差动保护中用来切除降压变压器高压引线上的短路故障。

### 3 差动保护的灵敏性

差动保护在内部短路时的灵敏性主要取决于有无电流流出或者有无穿越性电流流过。不同电气设备的情况有所不同,现分别讨论如下。

#### 3.1 高压输电线路的差动纵联保护

为简单起见仅讨论无分支的线路。在内部单相经高阻接地时故障电流小,电压下降不多,仍能传输负荷。如果负荷很重便形成较大的穿越性电流分量,比率制动系数选大,继电器将变得不灵敏。既不降低安全性(取较大的制动系数)又能有灵敏性的方法是采用故障分量比率差动继电器,使制动电流不受负荷电流的影响,从而提高灵敏性。

长距离输电线路外部短路时穿越性短路电流一般不会使电流互感器严重饱和,但在传输重负荷时两侧电源电势的相位差大,相差动继电器的灵敏度下降,短线路的情况与长线路恰恰相反。短线在外部短路电流很大时电流互感器可能严重饱和,宜采用 TP 类电流互感器。

#### 3.2 变压器差动保护

变压器绕组发生故障时短路绕组的安匝产生去

磁作用,使主磁通感应的电势下降,如果各侧都有电源就不会有电流流出,差动继电器一定能够动作。单侧电源供电的降压变压器发生轻微匝间短路时主磁通下降甚微,仍可送出负荷<sup>[2]</sup>,在穿越性负荷电流的作用下比率制动判据的灵敏度可能不足。为此在图2中采取当两侧电流均小 $1.5I_n$ 时采用经直流闭锁的较灵敏的差动继电器对此作出反应。

就作者所知已有4次变压器轻微匝间故障,微机差动继电器都灵敏地动作,而瓦斯继电器都未动作,其中一次延时125ms才跳闸,检查后发现损坏轻微。所以如果故障更轻微而差动保护不能及时反应时等待故障发展也没有任何不良后果。这种轻微故障既不危及系统稳定,又仍然保持送出负荷电流,也不会增加修理费用,差动保护灵敏度不足又有何妨害?如果必需灵敏地反应更轻微的故障,可采用故障分量差动继电器。

### 3.3 发电机差动保护

现在发电机都并网运行,内部故障时,不会有电流流出,但是每相多支路的水轮发电机在内部短路时出现复杂的情况,其绕组故障都是在两根线棒之间发生的。相间故障只是在两相两个支路之间发生短路。假设每相有5个支路,某相第1支路与另一相发生短路,该相第1支路两侧电流都可能流向故障点,相位基本相同,其余第2~5四个支路没有故障,都流过穿越性电流。发电机完全纵差保护反应的机端侧和中性点侧电流都是5个支路的和电流,都包含4个健全支路的穿越性电流分量。穿越性电流分量的存在使完全纵差保护两侧电流的相位差增大。如果故障点靠近中性点,甚至故障支路两侧电流的相位也相反,用相位比较不可能动作<sup>[4]</sup>。所幸此时两侧电流幅值有差异,幅值较小者小于 $1.5I_n$ ,用比率制动判据测量可以动作。

长期以来认为裂相横差保护只是保护一相匝间故障的,如前所述相间故障时故障相中也仅有一个支路是故障支路,裂相横差保护所比较的两个回路的电流不再平衡,所以裂相横差保护也可能动作。但是横联保护不是单元保护(Unit Protection),在保护区内相间短路时测量到的差动电流并不等于故障点的总短路电流,只是被比较的两回路的电流之差,因而不可避免有死区。相间故障时靠近机端处便是裂相横差保护的死区。由于此时横联差动保护被比较的两回路电流的相位都具有区外短路的特征,因此用标积制动没有任何好处。裂相横差保护毕竟是为保护一相匝间故障而设的。在一相匝间故障时故

障相在支路之间产生环流。完全纵差保护不反应此环流。裂相横差保护所比较的两回路电流相位相反,可以灵敏地作出反应。此时发电机的感应电势下降,电网将向发电机供给短路电流,此电流也使裂相横差保护的差动电流增加,有利于保护的动作。如果匝间短路发生在一相不同支路之间,例如第1支路和第5支路(共有5个支路)之间,假设第1支路故障点的电位比第5支路故障点的电位高,则短路电流将由第1支路流向第5支路。第2~4支路和电网也将沿同一方向供给短路电流。在中性点侧第1~4支路电流的相位接近同相,唯独第5支路电流的相位接近反相。第5支路电流的幅值最大,等于其余四个支路和机端引线电流之和。其余四个支路中第1支路的电流最大,第2~4支路的电流近似相等。为实现裂相横差保护需将五个支路分为两组,显然不论如何组合都能取得较好的效果。不完全纵差保护和完全纵差保护相比的优点是能够反应一相匝间短路。在上例中如果不完全纵差保护在中性点侧取第1~4支路中的电流则与机端引线的电流相位接近同相,一定能灵敏地动作,若在中性点侧所取电流包含第5支路的电流则与机端引线的电流相位接近反相,那么不完全纵差保护只能按幅值的差异而动作。为此不完全纵差保护在中性点侧包含的支路电流宜少不宜多。因为如果包含了全部支路电流就变成完全纵差保护,就不能对一相匝间短路作出反应了。不完全纵差保护既吸收了裂相横差保护的性质,又继承了完全纵差保护的性质,虽然能反应一相匝间短路但也会有较大的穿越性电流存在。不论在中性点侧引入的支路电流如何选取,都会对某些故障较灵敏,而对另一些故障较不灵敏。所以在硬件条件允许的情况下,宜采取完全纵差保护和裂相横差保护为基础。实际上此时微机保护已采集到机端引线电流和中性点侧的两组电流。在微机CPU运算速度足够快时再计算2个不完全纵差保护的判据也是可能的。由于保护判据都很简单,只要采集的数据正确,多计算几种保护判据不会降低安全性,不应当沿袭机械型保护套数多了,误动作的机会增加的观点来评价微机保护。不论采用了多少个不同原理的保护判据,只要是由一套微机硬件实现都只是一套保护,并未实现保护的双重化,在一套微机保护中动作判据的多重化是使保护的性能更加完备,对各种可能发生的故障都能灵敏地反应。对多支路发电机内部故障,保护原理的选择比差动继电器的选择及其整定更重要。

### 3.4 母线差动保护

母线有很多引出线,电源也较多,在引出线出口故障时流过故障线的电流很可能超过电流互感器额定电流的30倍。一次短路电流的非周期性分量的衰减时间常数又很大(可能大于150ms)。所以故障线的电流互感器将迅速饱和,在一个周期内有一段时一次电流全部流入励磁回路,二次电流下降为零。如果一次电流下降很快,为了维持励磁阻抗中的电流不变,在二次回路产生一个自由非周期性分量。此自由非周期分量在二次回路中流动的方向与应当由一次电流传变过来的电流方向相反。不论是二次电流降为零或者是方向相反的自由非周期分量,在这段时间内差动保护都要误动作。

励磁阻抗主要是电感,电感中的电流不能突变。一般电流互感器在短路初期(约5ms以内)都能忠实传变一次电流。换言之,外部短路时差动不平衡电流不会立即出现,这就为差动保护区分外部与内部短路提供了可能。一般采取比较差动电流和故障检测元件动作的快慢来解决。

母线差动保护是按相设置的,外部转内部故障如果故障相别不同保护的动不受影响。如果是同一相外转内故障可由故障线电流互感器二次电流的波形鉴别。电流互感器严重饱和时其二次电流波形严重缺损,含有很大的非工频分量。波形非正弦说明外部故障仍然存在。只有波形基本正弦后才投入比率差动继电器检测故障。

在 $1\frac{1}{2}$ 接线的母线上发生故障时可能有一部分故障电流流出故障母线经健全母线再流入故障母线。流出电流的存在使相差动继电器拒动。流出电流是由于健全母线的旁路将一部分流入电流分流出去产生的,因而其数值不大,只要 $k_{res}$ 不太大,比率差动继电器是可以动作的。

单相经高阻接地故障都是由对树枝放电造成的。且不说变电站内在母线下不会有树,更何况树长高需要在变电站内不可能不被发现。为了反应高阻接地故障过份提高灵敏度,降低了安全性是不值得的。

#### 参考文献:

- [1] 朱声石. 关于数字式比率差动继电器. 电力自动化设备, 1998, (1): 7~16.
- [2] 朱声石. 变压器轻微匝间短路的保护. 电力自动化设备, 1999, (1): 23~27.
- [3] 王维俭, 张学深等. 电气主设备差动保护的进展. 继电器, 2000, (5): 6~8.
- [4] 桂林, 王祥珩. 新型标积制动式差动保护的分析和研究. 第八届全国继电保护学术研讨会论文集. 北京: 2001, 3. 159~167.

收稿日期: 2001-05-12;

作者简介: 朱声石(1929-), 男, 教授级高工, 主要从事电力系统继电保护研究工作。

### Microprocessor based multi-stage differential protection

ZHU Sheng-shi

(Nanjing Automation Research Institute, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** Various kinds of microprocessor based differential protection are reviewed. Then a new multi-stage differential protection is introduced and the sensitivity of the differential protection for internal faults is discussed.

**Key words:** differential relay

#### 作者更正

我们在《继电器》2001年第四期上发表了一篇题为“区外故障时零序方向保护误动的原因浅析”的文章。由于一时疏忽,文章中存在以下标识错误:

(1) 在图1中压变开口三角线圈L630与Ln600标反;

(2) 在图6、7中压变开口三角线圈从上至下原为:YHC、YHB、YHC,应改为:YHC、YHB、YHA。

特此更正,敬请读者见谅!

作者: 聂清海 凌永华

2001年7月19日