

# 故障分量差动保护

尹项根 陈德树 张哲

(华中理工大学电力系 430074 武汉)

李毅军

(三峡国际招标公司 443002 湖北宜昌)

**摘要** 深入地研究了基于故障分量的数字式差动保护的基本原理,并与传统的比率制动差动保护作了详细比较,讨论了故障分量差动保护的动作判据,最后介绍了基于该原理的保护在实际中的应用。

**关键词** 故障分量 差动保护 微机保护 发电机 变压器

**分类号** TM 771

## 0 引言

基于故障分量(也称增量)来实现保护的原理最早可以追溯到突变量原理的保护,但真正受到人们普遍关注和广泛研究则是出现微机保护技术之后。微机具有长记忆功能和强大的数据处理能力,可以获取稳定的故障分量,从而促进了故障分量原理保护的发展<sup>[1]</sup>。近20年来,陆续提出了基于故障分量的差动保护、方向保护、距离保护、故障选相等许多新原理,并在元件保护、线路保护各个领域得到了成功的应用。本文针对在发电机、变压器中广泛使用的比率制动式差动保护,讨论故障分量保护的基本原理、判据和应用中的一些问题。

## 1 故障分量比率差动保护原理

故障分量电流是由从故障后电流中减去负荷分量而得到的,可以由它来构成比率差动保护。习惯上常用“ $\Delta$ ”表示故障分量,故也有人称之为“ $\Delta$ 差动继电器”<sup>[2]</sup>。以两侧纵联差动保护为例,若两侧电流假定正向均取为流入被保护设备,故障分量比率差动保护的动作方程可表示为:

$$|\Delta\dot{I}_1 + \Delta\dot{I}_2| > K |\Delta\dot{I}_1 - \Delta\dot{I}_2| \quad (1)$$

式中  $\Delta\dot{I}_1 = \dot{I}_1 - \dot{I}_{1L}$ ;  $\Delta\dot{I}_2 = \dot{I}_2 - \dot{I}_{2L}$ ; 下标 L 表示正常负荷分量; 下标 I, II 则分别表示被保护设备两侧的电量。

在故障分量比率差动保护中,令  $\Delta\dot{I}_d$ ,  $\Delta\dot{I}_r$  分别表示动作量(差动量)和制动量,即

$$\begin{cases} \Delta\dot{I}_d = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 \\ \Delta\dot{I}_r = \dot{I}_1 - \dot{I}_2 \end{cases} \quad (2)$$

因正常运行时有  $\dot{I}_{1L} = -\dot{I}_{2L} = -\dot{I}_L$ ,故传统比率差动保护的动作量  $\dot{I}_d$  和制动量  $\dot{I}_r$  可表示为:

$$\begin{cases} \dot{I}_d = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = \Delta\dot{I}_d \\ \dot{I}_r = \dot{I}_1 - \dot{I}_2 = \Delta\dot{I}_r + 2\dot{I}_L \end{cases} \quad (3)$$

比较式(2)与式(3)可见,忽略变压器两侧负荷电流的误差之后,两种差动保护原理的动作量相同,主要不同之处表现在制动量上。发生内部轻微故障(如单相高阻接地或小匝数匝间短路)时,可能出现  $|\Delta\dot{I}_r| < |\dot{I}_{1L}|$ ,  $|\dot{I}_d| < |\dot{I}_{1L}|$ ,这时式(3)中制动量主要由  $2\dot{I}_{1L}$  决定,从而使得传统比率差动保护方案因制动量太大而降低了灵敏度。利用降低 K 值来改善灵敏度是有限的。因为必须保证外部严重故障时有足够的制动量不使保护误动,发生外部严重故障时,一般有  $|\Delta\dot{I}_r| \gg |2\dot{I}_{1L}|$ ,制动量主要决定于  $\Delta\dot{I}_r$ ,因此两种原理差动保护的制动量相当,不会引起误动。由以下进一步的分析可更清楚地看到这一点。

设一单相变压器发生对地高阻抗接地故障,现用一简化的具有两端电源的 T 形网络来表征,如图 1 所示。

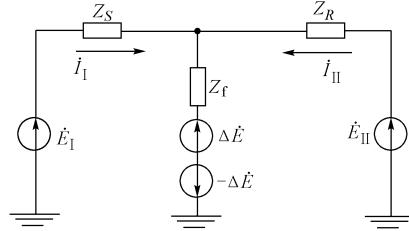


图 1 单相变压器内部故障简化等值电路

Fig. 1 The simplified equivalent circuit of single-phase transformer with internal fault

短路阻抗为  $Z_f$ 。按照叠加原理,可将图 1 所示电路分解为正常网络和故障附加网络。由故障附加网络推导出式(1)的另一种形式为:

$$K < \frac{|\Delta\dot{I}_d|}{|\Delta\dot{I}_r|} = \frac{|Z_R + Z_S|}{|Z_R - Z_S|} \quad (4)$$

由式(4)可见,故障分量原理的灵敏度与  $Z_f$  无

关。对于一个感性电力系统,  $Z_R$  与  $Z_S$  的相位差介于  $[-90^\circ, +90^\circ]$  之间, 所以  $|Z_R + Z_S| / |Z_R - Z_S|$  的最小值为 1。也就是说, 故障分量差动原理在内部故障时, 总会有  $|\dot{I}_d| / |\dot{I}_r| > 1$  存在, 即在双侧电源条件下, 若取  $K = 1$ , 按上述分析能保障对最轻微故障的灵敏度。

当然实际情况要比这种简化分析复杂: 当故障阻抗  $Z_f$  很大时, 将无法正确取出保证计算精度的故障分量, 因此灵敏度仍然受  $Z_f$  限制; 同时, 三相变压器所遇到的问题也不能简单地归结为上述简化分析; 另外, 为防止当只有一侧投入系统的变压器发生内部故障时不拒动,  $K$  值的选择仍必须小于 1。

传统差动保护判据也可由图 1 推导为:

$$K < \frac{|\dot{I}_d|}{|\dot{I}_r|} = \frac{|Z_R + Z_S|}{|Z_R - Z_S| K_{ns}} \quad (5)$$

式中  $K_{ns} = \left| 1 + \frac{2\dot{I}_{IL}}{\Delta\dot{I}_r} \right| \quad (6)$

比较式(4)与式(5), 主要差别在于因子  $K_{ns}$ 。轻微内部故障时,  $|\Delta\dot{I}_r| < |\dot{I}_{IL}|$ ,  $K_{ns}$  变得较大, 传统方案的灵敏度很低, 同时传统方案受故障电阻  $Z_f$  的不利影响也十分明显。

当有外部故障引起的穿越电流流过被保护设备时, 有很多原因使电流互感器(TA)副边电流产生误差。设两侧 TA 副边误差百分比分别记为  $e_1$  和  $e_{1L}$ , 并用  $\dot{I}_D$  和  $\dot{I}_R$  分别表示不含误差的差动电流和制动电流, 故障分量原理的差动电流和制动电流可表示为:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta I_d = \left| \dot{I}_D \left[ 1 + \frac{(e_1 + e_{1L})}{2} \right] + \right. \\ \quad \left. \dot{I}_R \frac{(e_1 - e_{1L})}{2} - \dot{I}_{IL}(e_{1L} - e_{1L}) \right| \\ \Delta I_r = \left| \dot{I}_R \left[ 1 + \frac{(e_1 + e_{1L})}{2} \right] + \right. \\ \quad \left. \dot{I}_D \frac{(e_1 - e_{1L})}{2} - \dot{I}_{IL}(2 + e_{1L} + e_{1L}) \right| \end{array} \right. \quad (7)$$

正常运行时,  $\dot{I}_D = 0$ ,  $e_1 = e_{1L}$ ,  $e_{1L} = e_{1L}$  及  $\dot{I}_R = 2\dot{I}_{IL}$ , 将其代入式(7), 则有  $\Delta I_d = 0$  和  $\Delta I_r = 0$ 。

外部故障时, 考虑最严重情形, 有  $e_1 = -e_{1L}$ ,  $e_{1L} = -e_{1L} = e_L$ , 代入式(7), 并考虑外部制动要求, 应满足:

$$\frac{\left| e_{max} - 2 \left( \frac{\dot{I}_{IL}}{\dot{I}_R} \right) e_L \right|}{\left| 1 - 2 \left( \frac{\dot{I}_{IL}}{\dot{I}_R} \right) \right|} \leq K \quad (8)$$

在同样条件下, 传统差动保护方案的制动要求则应

满足:

$$e_{max} \leq K \quad (9)$$

当外部严重故障时,  $|\dot{I}_R| \gg |\dot{I}_{IL}|$ 。此时若忽略式(8)中与  $\dot{I}_{IL}/\dot{I}_R$  有关的项, 就得到式(9)。请注意, 对于同样的外部故障条件和  $K$  值, 故障分量原理差动保护总要比传统差动保护的制动量略小一些。例如按照 10% 误差, 对于传统保护方案, 由式(9)可确定  $K = 0.1$ ; 对于故障分量比率差动保护方案, 若近似假设  $e_L = 0.01$  以及  $\dot{I}_{IL}/\dot{I}_R = 0.25$ , 由式(8)则要求  $e_{max} - 0.005 \leq 0.05$ , 即若  $e_{max} \geq 0.055$  就会误动(当然, 通常这种情况下  $e_{max}$  不大可能达到 5.5%)。根据前面的分析, 故障分量原理的比率差动保护的一个重要特点是, 即使  $K$  值取得较大(但  $K < 1$ ), 也不会对灵敏度产生不利影响。因此  $K$  值应适当取大一些, 只要满足变压器仅一侧投入系统, 且发生内部故障时能可靠动作即可。

## 2 故障分量差动保护的动作判据

构成一个完整的差动保护往往还需要用到一些辅助判据, 如差流速断判据、TA 断线闭锁判据、变压器保护中的励磁涌流制动判据和低电压加速判据等, 这里仅就主判据作讨论。

### 2.1 两侧电流相量构成的比率制动判据

实现保护应先计算被保护设备两侧故障分量的基波相量, 然后再构成比率制动特性动作判据。采用故障分量原理仍然需要设置一个差流故障分量门坎值  $\Delta I_{d,min}$ , 并与从原点出发的比率制动特性相结合, 形成折线制动特性。根据第 1 节的分析, 故障分量差动保护可选用较大的  $K$  值而不会降低灵敏度, 故只需要一段斜线特性就够了, 如图 2 所示。在正常运行条件下, 差动电流  $\Delta I_d$  中已消去了 TA 等因素引起的稳态误差的影响, 故  $\Delta I_{d,min}$  可以整定得更小一些, 这对于提高保护对内部轻微故障的灵敏度非常有益。

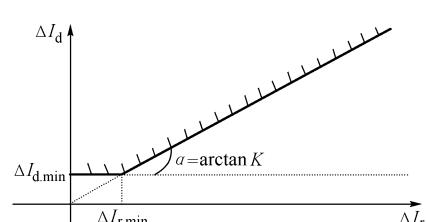


图 2 故障分量差动保护动作特性  
Fig. 2 Operating characteristic of fault component based differential protection

综合判据的表达式为:

$$\Delta I_d > \Delta I_{d,min} \cap \Delta I_d > K \Delta I_r, \quad 0 < K < 1 \quad (10)$$

还可以用标积制动量构成比率制动判据<sup>[3]</sup>:

$$\Delta I_d > \Delta I_{d, \min} \cap \Delta I_d^2 > -S \Delta I_1 \Delta I_1 \cos \theta \quad (11)$$

式中  $\theta = \arg(\Delta I_1 / \Delta I_{1,1})$ ;  $S$  为标积制动系数,  $S > 0$ 。

根据余弦定理, 不难证明式(10)中的  $K$  与式(11)中的  $S$  的关系为:

$$S = \frac{4K^2}{1 - K^2} \quad (12)$$

若令  $\Delta I_1 = \Delta I_{1,R} + j\Delta I_{1,1}$ ,  $\Delta I_{1,1} = \Delta I_{1,R} + j\Delta I_{1,1,1}$ , 可以导出式(11)中标积制动力的算法为:

$$-S \Delta I_1 \Delta I_1 \cos \theta = -S(\Delta I_{1,R} \Delta I_{1,R} + \Delta I_{1,1} \Delta I_{1,1}) \quad (13)$$

上述分析表明, 动作判据式(11)与式(10)在原理上是基本一致的。不过, 用式(11)更容易理解采用故障分量后, 不仅可以提高保护对内部故障的灵敏度, 而且也可加强对外部故障的制动作用。采用故障分量的特点是完全消除了负荷电流的影响, 或者说在故障附加网络中, 移去了被保护的设备两侧的等值系统电源电势, 而只在故障点处还保留唯一的一个故障分量电势。外部故障时, 故障分量电势位于区外, 由它引起穿越性故障分量电流。对被保护设备两侧测量点而言, 两侧测量电流几乎是完全反相的 (“几乎”是指传感器或测量元件会引入相位误差, 下同), 即  $\theta \approx \pi$ , 在判据式(11)中将产生很大的制动力, 而动作量很小, 可确保可靠的制动作用。内部故障时, 故障分量电势位于区内, 由它引起从被保护设备两侧流出的电流, 因而两侧测量点测得的故障电流几乎是完全同相的, 即  $\theta \approx 0^\circ$ , 在判据式(11)中动作量很大, 而制动力为负, 故保证了对内部故障的灵敏度, 并较小地受故障过渡电阻的影响。

## 2.2 多侧电流相量构成的比率制动判据

对三绕组变压器差动保护或发电机-变压器组差动保护(大差)等, 需要用到 3 侧或更多侧电量来构成故障分量比率制动特性。此时动作判据仍可采用式(10), 但该式中各量的组成将发生变化。对于  $M$  侧 ( $M > 2$ ), 电流差动保护的动作量  $\Delta I_d$  应取为:

$$\Delta I_d =$$

$$|\Delta I_1 + \Delta I_2 + \Delta I_3 + \cdots + \Delta I_M| = \left| \sum_{i=1}^M \Delta I_i \right| \quad (14)$$

而制动力  $\Delta I_r$  常有 3 种取法, 分别如式(15)、式(16)、式(17)所示:

$$\Delta I_r = \max\{|\Delta I_1|, |\Delta I_2|, |\Delta I_3|, \dots, |\Delta I_M|\} \quad (15)$$

$$\Delta I_r = \sum_{i=1}^M |\Delta I_i| \quad (16)$$

$$\Delta I_r = |\Delta I_{\max} - \Delta I_{\text{ps}}| \quad (17)$$

$$\Delta I_{\max} \text{ 满足 } \Delta I_{\max} = \max\{|\Delta I_1|, |\Delta I_2|, |\Delta I_3|, \dots, |\Delta I_M|\}; \Delta I_{\text{ps}} = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^M \Delta I_i; \Delta I_j = \Delta I_{\max}.$$

对于由式(10)、式(14)及式(17)构成的判据, 可以认为是将多侧比率差动转换成两侧比率差动来实现, 因此与图 2 的特性完全一致, 并且这组判据很容易用标积制动力量构成, 表达式如下:

$$\Delta I_d > \Delta I_{d, \min} \cap \Delta I_d^2 > -S \Delta I_{\max} \Delta I_{\text{ps}} \cos \theta \quad (18)$$

$$\text{式中 } \theta = \arg(\Delta I_{\max} / \Delta I_{\text{ps}})$$

式(12)所示关系和式(13)所表达的算法可直接应用于式(18)。

对于由式(10)、式(14)及式(15)构成的判据, 其制动力量式(15)在多数情况下较式(17)偏弱; 而对于由式(10)、式(14)及式(16)构成的判据, 其制动力量式(16)在多数情况下较式(17)偏强, 必要时可采取一些措施。

更一般地, 式(10)亦可表达为另一种形式:

$$\Delta I_d > \Delta I_{d, \min} \cap \Delta I_d > \Delta I_{d, \min} + K' (\Delta I_r - \Delta I_{r, \min}) \quad (19)$$

显然, 对于图 2 的动作特性有:

$$\Delta I_{r, \min} = \frac{1}{K} \Delta I_{d, \min} \quad (20)$$

若取  $\Delta I_{r, \min} > \frac{1}{K} \Delta I_{d, \min}$ , 斜线将沿横轴 ( $\Delta I_r$  轴) 向正方向平移, 这有利于改善灵敏度, 但会劣化制动特性, 故一般要求  $\Delta I_{r, \min} < 0.8 I_n$ ; 反之若取  $\Delta I_{r, \min} < \frac{1}{K} \Delta I_{d, \min}$ , 斜线将沿横轴向负方向平移, 这有利于增强制动性, 但会劣化灵敏度。一般应使  $\Delta I_{r, \min} \geq -\frac{1}{K} \Delta I_{d, \min}$ , 等号成立时斜线将与纵轴在  $\Delta I_{d, \min}$  处相交。

因此对于由式(10)、式(14)及式(15)构成的判据, 可取  $\Delta I_{r, \min} \leq \frac{1}{K} \Delta I_{d, \min}$ ; 而对于由式(10)、式(14)及式(16)构成的判据, 可取  $\Delta I_{r, \min} \geq \frac{1}{K} \Delta I_{d, \min}$ , 并一般应遵守前面讨论的原则。

## 2.3 具有双曲线型非线性制动特性的判据

折线比率制动判据反映了非线性制动要求, 但它们是由分段直线构成的, 而外部故障时由于 TA 误差引起的  $\Delta I_d$  与  $\Delta I_r$  在  $\Delta I_d - \Delta I_r$  平面上通常表现为更为平滑的曲线, 因而需要探讨直接采用曲线制动特性的判据。如一条开口向上并对称于纵轴的双曲线的右支, 开始上升慢, 后来上升快, 且最终趋近的斜率是稳定的, 比较适合用来实现非线性制动特性。这种双曲线制动特性判据一般可表示为:

$$(\Delta I_d + K_c - K_0)^2 - K''^2 \Delta I_r^2 > K_c^2 \quad (21)$$

式中  $K_0, K''$  及  $K_C$  均为与动作特性有关的正常数, 式(21)应满足双曲线的基本条件<sup>[3]</sup>。

合理选择  $K_0, K''$  和  $K_C$  可以灵活实现各种不同的双曲线制动特性判据, 如令  $K'' = 1$  时, 式(21)可以演变为:

$$\Delta I_d > -S_K \Delta I_1 \Delta I_1 \cos \theta + S_0 \quad (22)$$

式中  $S_K = \frac{2}{K_C - K_0}$

$$S_0 = \frac{K_0(2K_C - K_0)}{2K_C - K_0} \approx K_0 = \Delta I_{d, \min}$$

式(22)表明标积制动量与  $\Delta I_d$  配合可以构成双曲线制动特性。 $S_0$  确定了双曲线的顶点;  $K_0 - K_C$  为渐近线在纵轴的截距, 它控制双曲线随制动量增加而上升的速度, 截距越负, 上升速度越慢。只要选择合理, 可以得到比较理想的非线性制动特性。

#### 2.4 利用瞬时采样值的比率制动判据

直接用瞬时值比较来实现差动保护可以明显提高保护动作速度和减少计算量, 这对于某些场合(如发电机纵差保护、母线差动保护等)是非常有价值的。其应用也分两侧或多侧差动保护两种(可参考第2.1节和2.2节)。故障分量的计算一般采用“周周比较法”。此外, 为保证动作的正确性, 可以采用“多点表决法”, 即在连续  $m$  次计算中有  $n(n \leq m)$  次满足条件, 则判定为内部故障<sup>[1]</sup>。

### 3 故障分量比率差动保护的应用

WYB-01型发电机-变压器组微机成套保护装置按3侧量(变压器高压侧, 发电机中性点及厂用变分支)构成故障分量相量差动原理设计, 采用动作判据如下。

#### 3.1 比率制动判据

采用式(19)所示判据, 其中动作量  $\Delta I_d$  和制动量  $\Delta I_r$  分别如式(14)和式(15)所示( $M = 3$ )。

#### 3.2 辅助判据

##### 3.2.1 励磁涌流闭锁判据

$$\Delta I_{d2} > K_{d21} \Delta I_{d1} \quad (23)$$

式中  $\Delta I_{d1}, \Delta I_{d2}$  分别为差流中基波和二次谐波电流故障分量幅值;  $K_{d21}$  为二次谐波比率制动系数。

##### 3.2.2 差流速断判据(满足时直接出口)

$$\Delta I_d > K_{ds} I_n \quad (24)$$

式中  $I_n$  为额定电流;  $K_{ds}$  为额定电流倍数。

TA 断线闭锁判据等其他辅助判据从略。

#### 3.3 讨论<sup>[4]</sup>

##### 3.3.1 正确选择整定值

一般地, 故障分量比率制动判据有3个定值, 即  $\Delta I_{d, \min}, \Delta I_{r, \min}$  和  $K$ , 这与传统的两段折线比率制

判据中3个定值  $I_{d, \min}, I_{r, \min}$  和  $K_0$  相对应, 故可参考后者来确定前者<sup>[2]</sup>。第1节分析认为: 故障分量比率差动保护判据中的差动量与传统比率差动保护判据中的差动量基本相当, 但故障分量有效地消除了正常不平衡电流, 故  $\Delta I_{d, \min}$  可比  $I_{d, \min}$  取得略小一些。故障分量判据中的制动量由于去除了负荷分量影响, 从绝对值上看较传统判据中的制动量略小, 因此  $\Delta I_{r, \min}$  应比  $I_{r, \min}$  取得更小一些, 以保证制动作用。根据前面的分析, 故障分量判据中的比率制动系数  $K$  只要满足  $K < 1$ , 即使取大一些也不会影响保护灵敏度和制动作用, 因此  $K$  可比  $K_0$  取得大。

故障分量差流门坎值  $\Delta I_{d, \min}$  与装置的测量精度密切相关(下面还将讨论), 一般取为  $(0.2 \sim 0.5)I_n$ 。例如取  $\Delta I_{d, \min} = 0.3I_n$ <sup>[3]</sup>。

比率制动系数  $K$  一般可取  $0.3 \sim 0.8$ , 建议取大一些。

拐点制动电流的选取与斜线方程及  $\Delta I_{d, \min}, K$  值有关。当取斜线方程过原点时, 有  $\Delta I_{r, \min} = I_{d, \min}/K$ , 按照前述建议, 则有  $\Delta I_{r, \min}$  取  $(0.375 \sim 1.0)I_n$ 。对于 WYB-01型发电机-变压器组保护采用的故障分量比率差动判据, 由于制动量选择偏小, 故斜线可适当向横轴左方平移。运行经验表明应使  $\Delta I_{r, \min} \leq 0.7I_n$ <sup>[4]</sup>。

##### 3.3.2 尽量减小精工电流

这里主要指减小差流故障分量  $\Delta I_d$  的最小精确测量电流。这可使  $\Delta I_{d, \min}$  降低, 从而有利于改善对轻微内部故障的灵敏度, 或者在同等  $\Delta I_{d, \min}$  情况下, 提高保护动作的安全性, 为此需要注意以下问题:

a. 保证各电流模拟通道的一致性。就装置而言, 主要指装置的电流输入变换器、低通模拟滤波器、采样保持器、多路转换器直至 A/D 前各个电流通道的稳态和暂态特性应尽量保持一致。这除了对工艺水平、元器件质量等提出高标准要求外, 还要求各通道尽量同时采样。

b. 提高 A/D 变换的精度, 降低 A/D 变换电路的内部噪声影响。一般地说, 提高 A/D 变换的分辨率有利于提高变换精度, 但这也不尽然。如果精度不高主要是由 A/D 变换电路(布线乃至器件、供电电源等)内部噪声引起的, 那么单纯提高 A/D 分辨率将于事无补。

c. 装置输入额定电流按被保护设备二次实际额定电流选择。装置输入额定电流通常是按 TA 副方额定电流确定的, 如  $I_{n2} = 5\text{ A}$ (或  $1\text{ A}$ )。而不同电厂、不同机组二次实际额定电流比 TA 副方额定电流有可能小很多。如葛洲坝二江电厂 4号机二次实际额定电流仅为  $2.5\text{ A}$ , 这使装置对应设备二次实

际额定电流的分辨率大为降低。例如对于 12 位 A/D, 考虑允许输入最大电流为额定电流的 20 倍, 那么对于按 TA 副方额定电流(5 A)选择, 则每安对应的数码约为 20, 对应 2.5 A(二次实际额定电流)的数码为 50; 对于按设备二次实际额定电流(2.5 A)选择, 则每安对应的数码约为 41, 对应 2.5 A 的数码为 102。显然分辨率大为提高, 改善了信噪比和测量精度。因此每台装置都应按二次实际额定电流作为其输入额定电流。

## 参 考 文 献

1 陈德树. 计算机继电保护原理与技术. 北京: 电力工业出

版社, 1992

- 2 McCleer P J, Fir M. A New Technique of Differential Relaying: The Delta-Differential Relay. IEEE, 1982, 101(10): 4164~4170
- 3 尹项根. 标积制动量的应用与分析. 见: 全国高校电力系统自动化专业第八届年会论文集. 长沙: 1992
- 4 李毅军. 对故障分量原理的微机型变差组差动保护装置在运行中一些问题的探讨. 继电器, 1996(4)

尹项根, 男, 1954 年生, 博士, 教授, 博士生导师, 电力系主任, 主要从事电力系统自动化专业继电保护与安全稳定控制领域的教学与科研工作。

## FAULT COMPONENT BASED DIGITAL DIFFERENTIAL PROTECTION

Yin Xianggen, Chen Deshu, Zhang Zhe (Huazhong University of Science and Technology, 430074, Wuhan, China)

Li Yijun (Three Gorges International Tendering Company Ltd., 443002, Yichang, China)

**Abstract** This paper analyzes the fundamental principle of the fault component based digital differential protection and compares it with the conventional percentage restraint differential protection. Operating criteria for the fault component based differential protection are also discussed and the practical application of this principle in the protection of a generator-transformer unit is described in detail.

**Keywords** fault component differential protection microcomputer-based protection generator transformer

## 讨 论

### 审稿人意见:

- ①如果内部短路时  $\theta \approx 0^\circ$ , 外部短路时  $\theta \approx \pi$ , 则  $S$  的取值越大越好(越灵敏和越不误动), 何必按式(12)决定  $S$  值? 问题是内部短路时  $\theta \not\approx 0^\circ$ 。
- ②正如作者清楚地阐明:  $\Delta I_d = I_d$ , 而  $\Delta I_r \neq I_r$ ,  $\Delta I_{d, \min} \neq I_{d, \min}$ , 即增量差动在概念上不同于传统差动, 所以整定计算时完全不必“仿效”或“参考”。
- ③请解释  $\Delta I_{d, \min}$  取值之理由。个别装置测量精度较差, 要求  $\Delta I_{d, \min}$  大, 不应推广。
- ④ $\Delta I_{r, \min}$  取值太大, 不能作为一般通用的整定推荐值。

### 作者答复:

- ①此段文字是为了说明故障分量原理与传统原理之关键区别而作的简化分析, 也是基于一次系统的一种经典分析, 从而有内部短路时  $\theta \approx 0^\circ$  和外部短路时  $\theta \approx \pi$  的结论。正是由于实际应用的复杂性, 应通过式(12)由  $K$  值来确定  $S$  值, 有益于把握特性边界和便于试验检验。
- ②原文中“参考”的含义是说明  $\Delta I_{d, \min}, \Delta I_{r, \min}, K$  与  $I_{d, \min}, I_{r, \min}, K_0$  的类同关系, 并不表示这两组定值完全相等, 并且原文紧接着阐述了这之间的差别, 在思路上和审稿人的意见是一致的。
- ③原文中已经分析指出故障分量判据中的差动量和传统判据中的差动量是基本相当的, 但故障分量有效地消除了正常不平衡电流, 故  $\Delta I_{d, \min}$  可比  $I_{d, \min}$  取得略小。这也表明, 以往的经运行考验的整定经验是值得参考的, 原文中建议  $\Delta I_{d, \min}$  取为  $(0.2 \sim 0.5)I_n$  正是反映了国内被普遍认可的运行经验。
- ④原文中建议  $\Delta I_{r, \min} \leq 0.7I_n$  并不排斥为增加制动性选择较小的  $\Delta I_{r, \min}$ 。具体选择时将由设计和运行人员选定, 只要保证运行安全即可。

[编者按]为了进一步活跃学术讨论的气氛, 开拓思路, 供读者深入探讨、研究, 本刊拟将部分审稿意见及作者答复随原文刊出。我们将审稿人对原稿有疑问处用下划线标出, 并按顺序编号, 在文后讨论中提出审稿意见, 并由作者一一答复。感谢作者尹项根教授及审稿人为本刊这种讨论方式作首次尝试。