

# 差动保护的暂态可靠性

朱声石

(国家电力公司电力自动化研究院,江苏 南京 210003)

摘要: 差动保护的暂态可靠性取决于电流互感器的精度和差动继电器的动作特性。文中分析了 P 类电流互感器的暂态误差,提出了加倍 P 类 TA 的准确极限系数以限制其暂态误差。另一方面通过提高比率制动系数,对差动电流进行波形鉴别和采取快速测量可使差动继电器能避开暂态不平衡电流,只要求 TA 能在故障后 2ms 内保持线性变换。所提出的快速测量方法不需要另外增加快速动作的故障检测元件捕捉故障起始的时刻。

关键词: 差动保护; TA 暂态误差

中图分类号: TM772 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2002)08-0001-05

## 1 问题的提出

主设备保护的正确动作率偏低,变压器差动保护亦然,曾发生过因 TA 使用不当而造成差动保护误动的事例。另一方面了解到为了抗暂态不平衡电流,仅在整定计算中引入安全系数 2,表现出对 TA 暂态误差的无知。因此把 TA 误差问题看得过分严重。

2000 年我国有 220kV 及以上变压器 3189 台,差动保护动作 201 次,正确动作率为 75.1%。误动作 49 次,原因全部查明与 TA 特性无关<sup>[1]</sup>。现行保护动作的统计方法并不能反映保护行为的全貌。例如有 3140 台变压器差动保护正确运行,没有发生误动作。2000 年全国发生线路故障 1377 次,至少有约 2500 台变压器差动保护经受了外部短路的考验,保持了选择性。如果差动保护因失去选择性而误动,用户一定要求制造厂进行检查,而检查结果保护装置一定正确无误,所以如果是 TA 暂态误差大,制造厂肯定知晓。通过征询我国 4 大保护制造厂,多年来确有 TA 特性不良的情况,如错用了仪表测量用 TA;也有两侧 TA 特性不匹配,反而在 TA 饱和电压较高的一侧将两组 TA 二次串联使用,进一步扩大了两侧 TA 的相对误差等。但这些都属于少数情况,也是容易纠正的。TP 类 TA 可以保证线性变换,有效地限制误差,但其价格贵,体积大,也不便安装。差动保护采用 TP 类 TA 代替 P 类 TA 并非良策。尤其是变压器差动保护若高压侧采用 TP 类 TA,低压侧仍采用 P 类 TA,反而会扩大相对误差。在所有情况下一律采用 P 类 TA 应当是努力的方向。

本文主要讨论如何正确选择 P 类 TA 和差动保

护如何抗暂态不平衡电流。

## 2 P 类 TA 的选择及其暂态误差

P 类 TA 的技术规范规定了在稳态情况下 TA 的误差。如 10P20 表示在二次额定负担下,当 TA 一次稳态电流为 20  $I_n$  ( $I_n$  为 TA 的额定电流)时稳态误差为 10%,问题是暂态误差如何?

假设一次电流为全偏移,归算到二次侧为  $i_1 = I_m \left( e^{-\frac{t}{T_1}} - \cos t \right)$ ,又假设二次时间常数  $T_2$  为常数,则可求得 TA 的励磁电流  $i_0$  为

$$i_0 = I_m \frac{T_1}{T_2 - T_1} \left( e^{-\frac{t}{T_2}} - e^{-\frac{t}{T_1}} \right) - \frac{I_m}{T_2} \sin t \quad (1)$$

暂态误差和稳态误差之比称为暂态饱和系数  $K_{st}$

$$K_{st} = \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \left( e^{-\frac{t}{T_2}} - e^{-\frac{t}{T_1}} \right) - \sin t \quad (2)$$

上式右边后一项为  $i_0$  的稳态值,即稳态误差;前一项为直流分量。直流分量由按  $T_1$  衰减的强制非周期性分量和按  $T_2$  衰减的自由非周期性分量组成。直流分量大大超过稳态分量,使  $i_0$  的变化曲线远离时间轴,如图 1 所示。可见由于直流分量的存

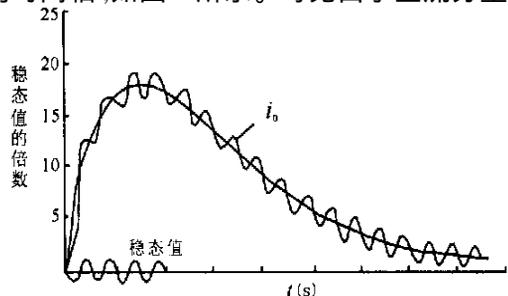


图 1 一次电流全偏移时  $i_0$  的变化曲线(理论值)

在使 TA 的暂态误差增大很多,式(1)中的直流分量

在  $t = \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{T_2}{T_1}$  时达到最大值  $I_m \left( \frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{T_2}{T_2 - T_1}}$ 。再令  $\sin t = -1$ ,代入式(1)可得最大暂态误差,即

$$i_{0\max} = I_m \left( \frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{T_2}{T_2 - T_1}} + \frac{I_m}{T_2} \quad (3)$$

通常取最大暂态误差与稳态误差之比,称为暂态饱和系数  $K_{\text{ffmax}}^{[2]}$

$$K_{\text{ffmax}} = T_2 \left( \frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{T_2}{T_2 - T_1}} + 1 \quad (4)$$

$K_{\text{ffmax}}$  又称面积系数,即为了保持在暂态下铁心不饱和,铁心截面应增大的倍数。此方法用于 TP 类 TA 的设计,使 TP 类 TA 在暂态过程中保持线性变换。

表 1 P 类 TA 在不同一次电流下的时间常数

一次电流 $I_1$	磁化曲线工作段	稳态误差 %	$T_2$ (ms)
$I_n$	起始段	3	100
约 $10 \sim 15 I_n$	线性段		1000
$20 I_n$	进入饱和	10	32

P 类 TA 的  $T_2$  不是常数,假设其型号为 10P20 二次为额定负载,则  $T_2$  的变化如表 1 所示。由表可见  $T_2$  在很大范围内变化。不仅如此,当  $i_0$  中直流分量大于交流分量时磁通将沿局部磁滞回线随  $i_0$  变化,在二次绕组中的感应电势下降,输出的二次电流减少, $i_0$  的交流分量增加。 $i_0$  的瞬时值必需降到零,磁通才会有较大的变化,二次绕组才可能送出电流。 $i_0$  对时间的实际变化曲线,如图 2 所示<sup>[3]</sup>。直流分量并非大大超过交流分量的最大值而远离时间轴,但保持了偏于时间轴的一边,呈现为单极性的特点。 $i_0$  的单极性使磁通对励磁电流  $i_0$  的变化的磁滞回线不与坐标原点对称,而是限定在  $-i_0$  坐标的第 或第 象限,因此 TA 励磁阻抗在  $i_0$  的正、负半周是不对称的,所以图 2 中  $i_0$  在一周中有将近半周的时间幅值很小,正负半周波形不对称意味着  $i_0$  含有较大的偶次谐波分量。稳态短路电流没有直流分量,磁通中随  $i_0$  变化的磁滞回线对坐标原点

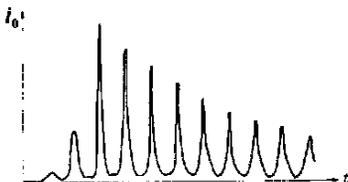


图 2 一次电流全偏移时  $i_0$  的实际变化曲线

对称,即使磁通进入饱和区, $i_0$  的波形发生畸变,只会出现奇次谐波分量,不会有偶次谐波分量出现。

还需指出,为了应用方便,导出暂态饱和系数  $K_{\text{ffmax}}$ 。在  $K_{\text{ffmax}}$  的表达式中稳态误差被隐含了,表 2 示出当  $T_1 = 60\text{ms}$  不同  $T_2$  值时的  $K_{\text{ffmax}}$ ,由表可见当  $T_2 = 1\text{s}$  时, $K_{\text{ffmax}}$  虽很大,但暂态误差不大。所以在应用  $K_{\text{ffmax}}$  时不能忘却稳态误差。尤其不应当用 TA 未饱和( $T_2$  大)时的  $K_{\text{ffmax}}$  去乘  $T_2$  下降时的稳态误差,以求暂态误差,那样会得出荒谬的结果。对于 P 类 TA 尽量避免饱和是最重要的问题。

表 2 TA 饱和时间暂态误差

$T_1$	$T_2$	$K_{\text{ffmax}}$	稳态误差	暂态误差
60ms	1s	16.7	0.32 %	5.4 %
60ms	32ms	5.8	10 %	60 %
150ms	32ms	7.5	10 %	75 %
400ms	32ms	8.0	10 %	80 %

差动保护并不要求 TA 准确得毫无误差。对 P 类 TA 的技术指标就规定允许稳态误差不超过 10%。暂态误差必然要超过稳态误差,因此我们不应期望暂态误差比稳态误差更小。在实用上可以在按稳态误差选出的技术规范的基础上通过“增容”以限制暂态误差。例如已选定为 10P10,二次额定负载  $S_{2n} = 50\text{VA}$  的 P 类 TA,为限制在全偏移  $10 I_n$  下的暂态误差其增容方法为:

- (1) 将准确极限系数增大一倍,选 10P20,  $S_{2n} = 50\text{VA}$ ;
- (2) 将二次额定负载增大一倍,选 10P10,  $S_{2n} = 100\text{VA}$  (实际二次负载应保持 50VA 不变);
- (3) 增大二次电缆截面,使二次回路的总电阻(绕组和电缆电阻之和)减半;
- (4) 改用 5P 类 TA,这相当于将  $T_2$  增大一倍。

采用第一种方法的理由如下:10P10,  $S_{2n} = 50\text{VA}$  的 TA,在一次稳态电流为  $10 I_n$  时其二次绕组的感应电势略超过饱和值。正因为超过了饱和值误差才会上升到 10%;当一次电流为全偏移时其二次绕组的最大感应电势可达到 2 倍稳态最大值,增容 2 倍后其二次电势便不会太多地超过其饱和值,暂态误差一定会比表 2 中的值下降很多。在此基础上差动保护就可采取措施(见下节)有效地保证其选择性。采用其他三种方法的依据实际也是相同的。

如果增容不能实现或一次短路电流太大,则在全偏移短路电流下 TA 将严重饱和。由于无法用解析法进行分析,让我们观察在此情况下的实际录波

图。图3示出在TA严重饱和时试验用TA的一次和二次电流波形<sup>[3]</sup>,从电流波形的线条可以肯定是用光线示波器录制的,因而真实可信。能够录制一次电流波形,说明不是高压TA,只能是试验室中变比为1的低压试验TA。遗憾的是文献[3]未给出TA的详细参数。从录波图可估算出 $T_1$ 约为190ms,但 $T_2$ 不得而知。可以推断出为了得到TA严重饱和时的暂态响应,二次负担一定很大, $T_2$ 很小。从录波可得到以下几点特征。

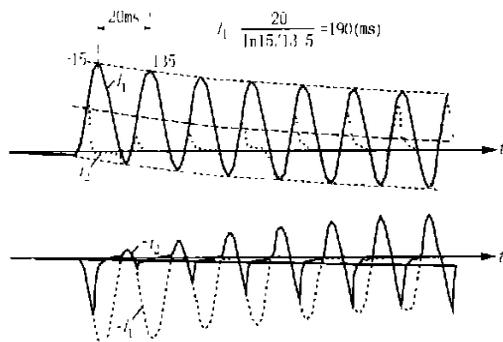


图3 一次电流全偏移TA严重饱和时一次与二次电流波形

(1) 二次电流波形有严重缺损,显著非正弦,但励磁电流仍保持单极性;

(2) 在短路后TA很快进入深饱和,以致二次绕组的感应电势降为零,在相应的一段时间内二次电流为零,此时一次电流全部成为励磁电流;

(3) 当已全部成为励磁电流的一次电流的瞬时值下降时TA逐渐退出饱和,当它下降到零进而改变极性时,铁心退出饱和和二次绕组的感应电势增大,又输出二次电流,几乎与一次电流相等,但此时铁心中有相当大的剩磁存在;

(4) 当一次电流恢复初始的极性又上升时,由于有剩磁存在铁心又很快饱和,二次电流又降为零;

(5) 在短路开始时铁心要维持磁通不变,或者说励磁回路的电感不允许其电流突变,一次电流全部变换为二次电流,TA无误差。

(6) 励磁电流 $i_0$ 可以从 $i_1$ 中减去 $i_2$ 得到,显然和图1中的 $i_0$ 相差很远,但仍保持单极性。

南瑞继保公司的试验室制作了模型TA,它符合10P20真实TA的技术指标,二次负担也合理,在试验室内作了大量的试验,用微机录波,不仅录取了一次和二次电流的采样值,并计算出励磁电流。其结果与图3基本一致。唯一不同的是当一次电流全部转为励磁电流后,在其下降时励磁回路的电感为了保持励磁电流不变,产生了一个自由非周期性分量

的电流。此电流在二次回路中环流,使得二次电流改变极性,与一次电流的极性相反。图3中未见有反向的二次电流出现,可能是TA的负担太大,二次时间常数极小,因而此自由非周期分量衰减极快。此自由非周期性分量的作用是维持励磁电流,所以在整个暂态过程中励磁电流仍保持单极性。

### 3 差动保护避开暂态不平衡电流的方法

在保护装置采取措施以前,首先应尽可能使两侧TA的负担相匹配。匹配就是使两侧TA二次绕组的饱和电势对在同一输出功率下二次绕组感应电势之比相等。如果两侧TA的型号,变比都相同,令二次负担相等就达到完全的匹配,使两侧TA的 $T_2$ 相等,并同时进入饱和。若是多侧电源应尽可能在最大外部短路电流下使流过主要短路电流的两侧TA负担匹配。如果型号和变比不同,只能尽量使两侧TA同时进入饱和。TA负担匹配是降低不平衡电流最经济、有效的方法。

差动保护避开不平衡电流有三种方法,三种方法可同时采用,兹分述如下。

(1) 提高比率差动继电器的制动系数 $k_{res}$

比率差动继电器差动电流 $I_d = \sum_{j=1}^n i_j$ ,制动电流 $I_{res}$ 较好的取法有2种,在只有2条引出线时, $I_{res} = 1/2 |i_1 - i_2|$ ;在有几条引出线时, $I_{res} = 1/2 \sum_{j=1}^n |i_j|$ 。在区外故障时,只要没有穿越性电流分量也就是没有流出电流, $I_d / I_{res}$ 一般都大于至少接近2。变压器绕组轻微匝间故障时有可能仍传送满负荷电流 $I_n$ ,此时电源侧供的短路电流一般也不小于 $I_n$ 。忽略两种分量的相位差, $I_{res} = 1.5 I_n$ 。三峡发电机定子绕组靠近中性点侧发生两相短路的最不利情况可计算出 $I_d / I_{res} = 1^{[7]}$ 。因此取 $k_{res} = 0.5 \sim 0.6$ 在以上两种 $I_{res}$ 下允许误差分别为 $0.46 \sim 0.53$ 和 $0.47 \sim 0.55^{[5]}$ 。从表2可见,这样还不能可靠地避开暂态误差。

为了避开暂态误差又保证在区内故障有流出电流时能灵敏地动作,比率制动判据可按制动电流的大小分别采用不同的制动系数,即多段式比率制动特性<sup>[5]</sup>。

(2) 差动电流的波形鉴别

根据前面的分析可知TA的暂态 $i_0$ 含有直流和偶次谐波分量,它们的大小应由相对于基波分量的比例确定,而差动保护的不平衡电流则是两侧 $I_0$ 之差。为了能鉴别不平衡电流还应确定在区内故障的

短路电流中可能出现的直流和偶次谐波分量。

前面已分析在暂态  $i_0$  中直流分量大于交流分量的最大值,这个特征在暂态不平衡电流中应当更加突出。文献[6]提供了典型的差动不平衡电流的波形,如图4所示,区内短路时也会出现直流分量,其最大值与交流分量最大值相等,但仅在短路的第一周期内才有可能,因此在利用直流分量鉴别暂态不平衡电流的条件必需是差动电流在一个周期内出现双极性才允许保护出口,这样在区内故障时差动保护的動作时间最长延长 20ms。不过设备绕组绝缘击穿都在电压瞬时值接近最大的时刻发生,短路电流中基本没有直流分量,保护的動作不会延缓。

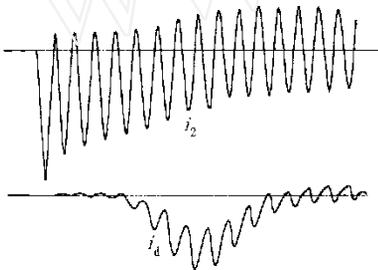


图4 TA二次电流及差动不平衡电流

暂态过程中  $i_0$  含有偶次谐波,作为两侧  $i_0$  之差的差动不平衡电流当然也会含有偶次谐波,但它对基波分量的比例很难用解析方法确定。在区内故障时若一次暂态短路电流中含有直流分量,TA的二次电流也会出现偶次谐波分量。用偶次谐波分量区分区外和区内故障应规定多大的比例为宜,没有充分的理论分析和足够的经验,参考变压器差动保护中利用二次谐波分量鉴别变压器励磁涌流的经验,可以把二次谐波的含量定为 15% ~ 20% 以鉴别差动不平衡电流。

利用直流分量或二次谐波鉴别暂态差动不平衡电流肯定是有效的,区内故障的初期在短路电流中会有直流分量和二次谐波,但都不会很大,存在时间很短,无论如何不会导致保护拒动,担心的只是会不会带来保护动作的延时。从图4可见区外故障差动不平衡电流的出现较短路电流迟后一段时间,利用这个特点就可保证区内故障时保护快速动作,这个方法将在下面“快速测量”小节中讨论。

外部短路切除时各侧电流立即下降,TA二次回路中可能有衰减的自由分量存在。若两侧  $T_2$  相差较大,将会有差动不平衡电流出现。此时的差动不平衡电流主要是直流分量。直流闭锁可以有效地避免保护误动作。

### (3) 快速测量

由于电感中电流不能突变,短路后 TA 的励磁电流上升达到使铁心饱和需要时间。在此以前 TA 能无误差地准确变换。若差动保护能在这段时间内快速完成测量便可保证正确动作。

TA 达到饱和前工作在磁化曲线的线性段,  $T_2$  为常数,式(1)成立,TA 达到饱和的时间  $t_{jq}$  可以用解析法计算出来。令对应于磁化曲线拐点的感应电势为  $U_x$ ,归算到二次的短路电流稳态值为  $I_{1sc}$ ,二次回路电阻为  $R_2$ ,按式(2)求出的饱和系数  $K_{if} = \frac{U_x}{I_{1sc} R_2}$ ,便可求出 TA 达到饱和的时间,IEEE 的出版列出了不同  $T_1$ 、 $T_2$  和  $K_{if}$  下的一系列曲线组。文献[2]摘录 3  $T_1 = 20 \sim 400ms$  的 7 组曲线族,我们对  $\frac{U_x}{I_{1sc} R_2}$  很大的情况下不感兴趣,当  $K_{if}$  值很小时,精确时间  $t_{jq}$  很短,IEEE 的曲线不能提供准确的数值,不仅如此,在  $t < 10ms$  时,  $1 > \sin t > 0$ ,不能取  $\sin t = -1$ ,必需按

$$\frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \left( e^{-\frac{t}{T_2}} - e^{-\frac{t}{T_1}} \right) - \sin t = \frac{U_x}{I_{1sc} R_2} \quad (5)$$

求解  $t_{jq}$ 。在计算时可近似取一次电流为准确极限值时在二次回路电阻  $R_2$  上的压降为  $U_x$ 。假设 TA 的技术型号为 10P20,在二次电阻为额定负载时按式(5)计算得到的  $t_{jq}$  如表3所示。

表3 大电流下 TA 的精确时间  $t_{jq}$

一次全偏移电流 中的正弦分量	$10I_n$	$20I_n$	$40I_n$	$60I_n$	$80I_n$	$100I_n$
$K_{if}$ 近似值	2	1	0.5	0.33	0.25	0.1
$T_2$ (s)	1	1	1	1	1	1
$t_{jq}$	$T_1 = 0.1s$	8.3	6.3	4.9	4.25	4
(ms)	$T_2 = 0.4s$	8.2	6.2	4.8	4.17	3.77
					2.77	2.76

由表3可见,若 TA 增容,例如一次最大稳态电流为  $10I_n$ ,选取准确极限系数为 20,  $t_{jq} \approx 8ms$ 。在一般情况下若差动保护能在 2ms 内完成测量就可保证保护动作的可靠性。

本文推荐下述快速测量方法。假设有  $n$  条引出线。它比较制动电流  $I_{res} = \sum_{j=1}^n |i_j|$  和差动电流  $I_d = \left| \sum_{j=1}^n i_j \right|$  出现的先后,为了不受故障前负荷电流的影响,将它们的灵敏度置于相同的水平,对它们的故障分量进行比较。即比较  $i_{res} = \sum_{j=1}^n |i_j|$  和  $i_d = \left| \sum_{j=1}^n i_j \right|$  出现的先后。式中  $i_j$  是第  $j$  条引出线电流

故障分量的瞬时值,  $i_{res}$  是  $i_j (j=1 \dots n)$  的绝对值之和,  $i_d$  则是它们的代数和。故障分量电流是由在故障点施加的一个假想电势产生的。在内部故障时各引线电流的极性相同。  $i_d = i_{res}$  它们同时出现。在外部故障时故障分量电流是穿越性的。在故障引线 TA 未饱和前  $i_d = 0$ , 必然是  $i_d$  较  $i_{res}$  稍晚出现。为此分别用时间元件  $t_{res}$  和  $t_d$  记录  $i_{res}$  和  $i_d$  出现的时间。本方法无需捕捉故障开始的时刻, 但需增设一个反应  $I_{res}$  的过流元件, 当此过流元件启动后检查  $t_{res}$  和  $t_d$  的记录时间, 若  $t_{res} > t_d$  必为外部故障, 若  $t_{res} = t_d$  必为内部故障。考虑到内部故障时可能某一条引线的电流流出,  $I_d$  的定值可略小, 以保证  $I_d$  快速启动  $t_d$ 。理论上只要  $t_{res} - t_d$  等于一个采样间隔的时间, 也就是在外部短路时故障引出线的 TA 在一个采样间隔内不饱和, 能准确变换就可判定为外部故障。

通过比较  $t_{res}$  和  $t_d$  似乎已完成了测量, 但实际上事情并没有完, 因为如果  $I_{res} > I_d$  继电器的测量还必需继续下去。而外部故障时最大的不平衡电流, 也就是对差动继电器选择性的最严峻考验将在以后的几十个毫秒内出现。由于已经认定为外部故障, 差动继电器在继续测量时可适当提高制动系数, 对差动电流进行严格的波形鉴别。这些抗饱和的条件可以逐步放宽最后恢复正常。反之, 如果  $t_d = t_{res}$  为了可靠也可用常规的或故障分量差动继电器继续测量, 但抗饱和条件可以放宽, 甚至不需要。

在微机保护中故障分量差动保护已得到应用, 但迄今为止只是发挥制动电流不受负荷分量影响的优点, 以提高轻微内部故障时的灵敏度。本方案利用故障分量避开暂态不平衡电流, 在外部故障时只要在一个采样间隔内, 故障线 TA 不严重饱和, 差动保护就不会失去选择性。若每周采样 12 点, 一个采样间隔为 1.67ms, 完全满足表 3 中在 2.8ms 内不饱和的要求。

母线的引出线多, 外部故障时故障线短路电流很大, 该线 TA 最易饱和, 利用故障分量实现快速测量的优点最为突显。发电机、变压器的引线不多, 外部故障时 TA 饱和不会非常严重, 用故障分量实现快速测量的必要性不大。这些设备的差动保护在差动继电器正常不经波形鉴别, 当它未动作时若制动电流超过定值便可断定为外部故障。这种状态延续

10ms 后便投入波形鉴别, 以避免外部短路时的暂态不平衡电流, 这同样利用了快速测量的原理。如果在正常运行时发生内部短路, 差动继电器不经过波形鉴别便可立即动作, 前面担心波形鉴别可能延缓保护动作的问题也就不存在了。反过来, 既然波形鉴别是在快速测量之后才投入的, 波形鉴别的条件也就可以从严了, 同样比率制动系数也可以由快速测量调节, 总之, 上述 3 种方法不是相互排斥的, 而是可同时采用, 相互补充的。

#### 4 结束语

差动保护动作的正确性是通过提高 TA 变换的精度和保护避开不平衡电流的能力两个方面共同实现的。差动保护并不要求 TA 的变换十分精确, 因而没有必要采用 TP 类 TA。现在对 P 类 TA 的误差规定为复合误差, 较过去用比差更为合理, 也已提高了精度。在使用时不需要查找 10% 误差曲线 (现在厂家也不提供), 只需按照最大外部短路电流提出准确极限系数和稳态下的误差以及二次额定负担, 制造厂即负责按要求供货, 非常方便。如果希望限制暂态误差可以在保证稳态误差的基础上对 TA 增容。

在对 P 类 TA 正确选择的基础上, 本文综合了现有差动保护避开暂态不平衡电流的方法, 认为差动保护的暂态可靠性是完全可以保证的。快速测量方法在我国微机母线保护中已成功地普遍应用, 但一般都需要增设灵敏的电压突变量启动元件, 捕捉故障开始的时刻, 因而未能在其它主设备差动保护中推广应用。本文推荐的快速测量方法, 算法简单快速, 不需要为捕捉故障开始时刻增设快速启动元件。本方法只要求 P 类 TA 在一个采样间隔内不饱和即可保证在外部短路时的选择性, 因而值得同仁参考。

#### 参考文献:

- [1] 周玉兰, 等. 2002 年全国电力系统继电保护与安全自动装置运行情况[J]. 电网技术, 2001, 25(8).
- [2] 王梅义. 电网继电保护应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999, 3.
- [3] Van, A R, Warrington C. Protective Relays Their Theory and Practice (Vol. 2nd edition) [M]. London Chapman and Hall, 1974.

# 基于分层拓扑模型的配电网故障定位优化算法

林景栋, 曹长修, 张帮礼

(重庆大学自动化学院, 重庆 400044)

**摘要:** 随着配电网规模的不断扩大, 配电网中的电源点及 T 接点的数量不断增多, 配电网故障定位的实时性矛盾将日益突出。针对此问题, 提出了基于分层拓扑模型的配电网故障定位优化算法。该算法充分考虑配电网故障定位的特点, 采用分层拓扑模型, 利用对分法, 通过计算某一区间中间层顶点故障信息状态组合情况, 以确定故障所属的更小区间, 逐步压缩并逼近故障所属区间, 实现故障的快速、准确定位。

**关键词:** 故障定位; 对分法原理; 分层模型; 配电自动化

**中图分类号:** TM71      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1003-4897(2002)08-0006-04

## 1 前言

配电网的故障定位和隔离是配电自动化的关键功能之一, 是提高供电可靠性的重要保证。随着配电网规模的不断扩大, 配电网中的电源点和 T 接点的数量也将不断增多, 对配电网故障定位的实时性要求也将越来越高。

目前, 实现配电网故障定位和隔离的算法主要有两类: 一类是以图论知识为基础, 根据配电网的拓扑结构进行故障定位, 文献[1]对各开关的故障信息状态采用异或计算, 经规格化处理后确定故障区段; 文献[2]通过对文献[1]的网络描述矩阵进行分块处理以节约内存; 文献[3, 4]采用过热弧搜寻算法, 将配电网的馈线看作弧, 将开关看作顶点, 则馈线供出

的负荷可以看作弧的负荷, 开关流过的电流可以看作是顶点的负荷。定义归一化负荷为弧负荷与额定负荷之比再乘以 100, 则故障区段显然是归一化负荷远大于 100 的那些弧, 这些弧称为过热弧。因此故障区段的问题实际上是过热弧搜寻问题。文献[3]将区域与一般弧同等对待, 先要计算区域内各条弧的平均负荷, 造成了计算的复杂。文献[5]将区域与一般弧分别描述、分别判断, 简化了故障定位的计算。另一类是以人工智能为基础, 如采用遗传算法<sup>[6]</sup>、神经网络和模式识别算法<sup>[7]</sup>等。文献[6]将网络拓扑信息通过评价函数反映出来, 随着网络拓扑结构的变化, 必须修改评价函数; 文献[7]通过神经网络训练识别, 计算时间长, 同时网络拓扑结构的变化又需重新训练。

- [4] 朱声石. 差动保护用 P 级电流互感器的问题[J]. 继电器, 2000, 28(7).
- [5] 朱声石. 多段式微机差动保护[J]. 继电器, 2001, 29(8).
- [6] (苏联) A M 费多谢也夫, 著, 张瑞政, 等译. 继电保护原理[M]. 北京: 中国工业出版社, 1965, 4.
- [7] 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用(第二版)[M].

北京: 中国电力出版社, 2002.

**收稿日期:** 2002-04-18

**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的研究工作。

## The transient reliability of differential protection

Zhu Sheng-shi

(Nanjing Automation Research Institute, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** The transient reliability of the differential protection is determined by the accuracy of the current transformer and the characteristics of the differential relay. The transient error of the class P current transformer is analyzed. A suggestion is promoted to limit the transient error by double the accuracy limit factor of the class P current transformer. On the other hand by increasing the restraint coefficient, discriminating the wave form of the differential current and fast measuring the differential relay may override the transient unbalance differential current even the current transformer can keep linear transformation only about 2ms. The method of fast measuring recommended does not require an additional fast operating fault detector to catch the fault starting time.

**Key words:** differential protection; transient error of current transformer