

# 继电保护整定计算的快速计算方法\*

东北电力学院 曹国臣

**摘要** 本文基于补偿原理、迭加原理和互易定理,提出了一种快速整定计算继电保护的新方法。该方法不需修改原网各序节点导纳阵或节点阻抗阵,既可完成网络拓扑结构变化的处理和非全相振荡的计算、母线侧或非母线故障又发生相继动作的计算和母线或非母线故障的计算。该方法计算速度快占用内存少并便于编制程序,为继电保护整定计算及其动作行为分析提供了一种有效的新方法。

**关键词** 补偿原理 网络拓扑结构的变化 各种故障计算

## 1 引言

在继电保护整定计算中,为取得正确且合理的整定值,必须对电力系统可能出现的各种运行方式进行故障计算。目前,这项繁杂的工作已逐步由计算机完成。用计算机进行继电保护整定计算可归结为在故障点或故障端口注入单位电流,求解因开断元件或故障造成的网络局部拓扑结构变化时的一系列线性稳态电路的问题,如何求解这一系列的稳态电路关系到整定计算的速度和效率。

常规计算方法完成上述计算需要修改原网各序节点导纳阵或节点阻抗阵,而且每次改变网络结构都必需先恢复原网各序节点导纳或节点阻抗阵,然后再修正它们。这种计算方法不

整理得:  $t = 10^{-520M+8.36}$  则  $K_1, K_2$  分别在 5.20, 8.36 左右

第三步:根据第二步结果及各数据点对  $K_1, K_2$  进行调整,使所求曲线在变压器过励曲线的下方逼近过励曲线,调整范围一般不大于  $\pm 1$ 。曲线 1 最后调整的结果为  $K_1 = 5.86, K_2 = 9.11$ ,调整过程十分简单,只需注意  $K_1, K_2$  的增加对  $t$  值影响效果相反而已。

本文仅讨论过励磁保护判据,不讨论判据在微机保护中的实现问题。

## 3 结论

具有两个可调实参数  $K_1, K_2$  的过励磁反时限保护判据式(2)能较好地满足本文提到的四种变压器过励磁保护要求。既保证变压器的安全运行,又能充分发挥变压器过励磁能力,值得在变压器微机保护中采用。

刘俊宏、石军同志校阅了全文,特此致谢。

## 参 考 文 献

- 1 王维俭、候炳蕴著,大型机组继电保护理论基础。
- 2 李大钦,大型变压器装设过励磁保护的探讨,继电器,1992,3

\* 本文1992年11月收稿

但在计算中引入修正误差，而且多次改变网络结构时，占用机时较多，使继电保护整定计算速度明显减慢。文献<sup>[1]</sup>提出的非对称断相的快速计算方法，虽不需修改原网各序节点导纳阵或节点阻抗阵，但计算过程中存在着大量的矩阵运算，而且各序网不能统一处理。

本文在常规的计算方法中，引入补偿原理来处理系统结构与参数的变化，建立起各序网通用的、适用于计算非全相振荡、母线侧或非母线故障又发生相继动作和母线或非母线故障的计算模型，然后利用迭加原理和互易定理，算出单位振荡电流或单位短路电流产生的任意母线电压，根据口参数定义求出各序网口阻抗参数，算出断口各序实际振荡电流或故障点的实际电流，从而得到任意母线的各序实际电压和任意支路实际电流。本文算法不但无需修改原网各序节点导纳阵或节点阻抗阵，而且能处理各种故障，用时，具有各序网统一处理、计算过程简单明了、结果精确、易于编制程度等特点。

经数值校核，算法正确，不久将用于编制各种继电保护整定计算实用程序。

## 2 计算方法

### 2.1 网络拓扑结构的复原

设原网中支路 1-2、3-4、……、(i-2)(i-1) 的支路参数由  $\bar{Z}_{st[0]}$  变成了  $\bar{Z}_s$  (st=12, 34, …, (i-2)(i-1))，同时，i-j 支路 i 母线侧发生断线或距 i 母线 k 处发生短路故障，见图 1。

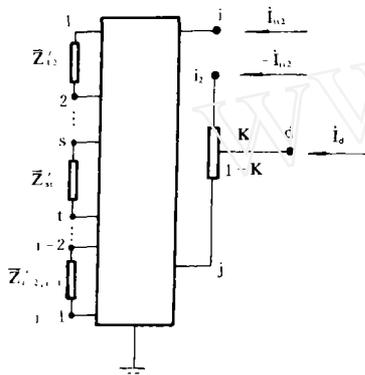


图 1

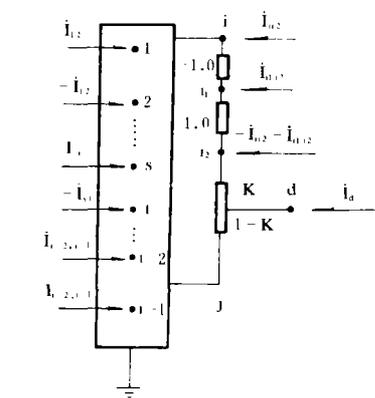


图 2

(1) 设断线口振荡电流  $I_{i12} = 1.0$

根据补偿原理，图 1 中因支路参数变化和断线引起的网络拓扑结构的变化，可用在原网相应节点 1, 2, …, (i-2), (i-1) 和  $I_{i1}$ 、 $I_{i2}$  注入的补偿电流  $I_{st}$  (st=12, 34, …, (i-2)(i-1)) 和  $I_{i12}$  来等效，见图 2。此等效过程可用图 3 和图 4 来说明。设 s-t 支路的支路参数由  $\bar{Z}_{st[0]}$  变成了  $\bar{Z}_s$ 。为恢复原网络，在 s、t 节点之间加入两条阻抗分别为：

$$\bar{Z}_{st} = \frac{\bar{Z}_{st[0]} \cdot \bar{Z}_{st}}{\bar{Z}_{st} - \bar{Z}_{st[0]}} \text{ 和 } -\bar{Z}_{st} \text{ 支路，这种加入对外界}$$

来讲没有影响，如果将  $\bar{Z}_{st}$  支路和原网其它部分用虚线框起来，那么框内便是故障前的原拓扑网络，后者的作用可用在节点 s 和 t 分别注入电流  $I_{st}$  和  $-I_{st}$  来等效，这种电流便称为补偿电流。

图 2 为本文中故障计算所采用的网络模型，计算中取：

$$\bar{Z}_s = \begin{cases} \bar{Z}_{st[0]}, & \text{当切除 } s-t \text{ 支路时;} \\ -\bar{Z}_s, & \text{在 } s, t \text{ 节点之间追加阻抗为 } \bar{Z}_s \text{ 支路时;} \\ \bar{Z}_s, & \text{当 } s-t \text{ 支路参数由 } \bar{Z}_{st[0]} \text{ 变成 } \bar{Z}_s \text{ 时} \end{cases}$$

### 2.2 非全相振荡的计算

在图 2 中，令  $I_d = 0$ ，即得到 i-j 支路非全相运行时的网络模型。

#### 2.2.1 各母线电压的计算



(1) 故障支路振荡电流

$$I_{i2j} = -I_{ii2} \quad (7)$$

(2) 非故障支路振荡电流

a. 任一无互感支路 a-b

$$I_{ab} = \frac{V_{ab \cdot F}}{Z_{ab}} \quad (8)$$

b. 任一互感支路 s-t

$$I_s = Y_{s-s} V_{s \cdot F} + Y_{s-cm} V_{cm \cdot F} \quad (9)$$

### 2.3 母线侧或非母线故障又发生相继动作的计算

在图 2 中, 令  $I_{ii2} = 0$ , 即得到 i-j 支路上距 i 母线 K 处发生短路, i 侧发生相继动作时的网络模型。

#### 2.3.1 各母线电压的计算

(1) 设故障点电流  $I_d = 1.0$

$$V_{m \cdot x}^{(d)} = V_m^{(d)} + V_m^{(i12)} \cdot I_{i12} + \Delta V_m \cdot I_B \quad (m = 1, 2, \dots, n) \quad (10)$$

式中  $V_m^{(d)} = KV_j^{(m)} + (1-K)V_i^{(m)}$  为在故障点注入正单位电流时, 母线 m 的电压  
其它符号同(1)式。

利用等值发电机定理, 由图 2 可求出补偿电流列阵:

$$\begin{bmatrix} I_B \\ I_{i12} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} Z_{11 \cdot B} & Z_{12 \cdot B} \\ Z_{21 \cdot B} & Z_{22 \cdot B} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} V_{i12}^{(d)} \\ V_{i12}^{(d)} \end{bmatrix} \quad (11)$$

式中  $V^{(d)} = [V_{12}^{(d)}, V_{2i}^{(d)}, \dots, V_i^{(d)}, \dots, V_{i-2, i-1}^{(d)}]^T$   
 $= [KV_j^{(12)} + (1-K)V_i^{(12)}, \dots, KV_j^{(i-2, i-1)} + (1-K)V_i^{(i-2, i-1)}]^T$

$$V_{i12}^{(d)} = \frac{KV_j^{(ij)} + (1-K)V_i^{(ij)} - (1-K)\bar{Z}_{ij}}{\bar{Z}_{ij}}$$

其它符号同(2)式

(2)故障点实际电流

a. 三相短路

$$I_{dd(1)} = \frac{-1}{Z_{dd(1)}} \quad (12)$$

b. 两相短路

$$I_{d(1)} = -I_{d(2)} = \frac{-1}{2Z_{dd(1)}} \quad (13)$$

c. 单相接地短路

$$I_{d(1)} = I_{d(2)} = I_{d(0)} = \frac{-1}{2Z_{dd(1)} + Z_{dd(0)}} \quad (14)$$

d. 两相接地短路

$$\left. \begin{aligned} I_{d(1)} &= \frac{-1}{Z_{dd(1)} + Z_{dd(2)} // Z_{dd(0)}} \\ I_{d(2)} &= -I_{d(1)} \frac{Z_{dd(0)}}{Z_{dd(2)} + Z_{dd(0)}} \\ I_{d(0)} &= -(I_{d(1)} + I_{d(2)}) \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

式中  $Z_{dd(t)} = V_{d \cdot x(t)}^{(d)} = (1-K)\bar{Z}_{ij(t)} + V_{j \cdot x(t)}^{(d)}$  ( $t = 0, 1, 2$ ) 为从故障点看进去的各序等值阻抗。

(3) 各母线的实际电压

$$V_{m \cdot x} = V_{m \cdot x}^{(d)} I_d \quad (m = 1, 2, \dots, n) \quad (16)$$

### 2.3.2 各支路电流的计算

(1) 故障支路电流

$$I_{dj} = I_d \quad (17)$$

(2) 非故障支路电流

a. 任一无互感支路 (a-b)

$$I_{ab} = \frac{V_{ab \cdot x}}{\bar{Z}_{ab}} \quad (18)$$

b. 任一互感支路 s-t

$$I_s = Y_{st-st} V_{s \cdot x}^{(d)} + Y_{st-em} V_{em \cdot x}^{(d)} \quad (19)$$

### 2.4 母线或非母线故障的计算

在图 2 中, 令  $I_{i12} = 0, I_{i12}^{(d)} = 0$ , 即得到 i-j 支路上距 i 母线 K 处发生短路时的网络模型。

#### 2.4.1 各母线电压的计算

(1) 设故障点电流  $I_d = 1.0$

$$V_{m \cdot D}^{(d)} = V_m^{(d)} + \Delta V_m I_B \quad (m = 1, 2, \dots, n) \quad (20)$$

式中  $V_m^{(d)}, \Delta V_m, I_B$  同 (10) 式

利用等值发电机定理, 由图 2 可求得补偿电流列阵

$$I_B = -Z_{11 \cdot B}^{-1} V^{(d)} \quad (21)$$

式中  $-Z_{11 \cdot B}, V^{(d)}$  同 (11) 式。

故障点实际电流由 (12) ~ (15) 式求出:

式中  $Z_{dd(t)} = V_{d \cdot D(t)}^{(d)} = K V_{j \cdot D(t)}^{(d)} + (1 - K) V_{i \cdot D(t)}^{(d)} + K(1 - K) \bar{Z}_{ij(t)}$  ( $t = 0, 1, 2$ )

(2) 各母线实际电压

$$V_{m \cdot D} = V_{m \cdot D}^{(d)} I_d \quad (m = 1, 2, \dots, n) \quad (22)$$

#### 2.4.2 各支路电流的计算

(1) 故障支路电流<sup>(3)</sup>

$$\left. \begin{aligned} I_{id} &= \frac{V_{j \cdot D}}{\bar{Z}_{ij}} - (1 - K) I_d \\ I_{dj} &= I_d + I_{id} \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

(2) 非故障支路电流

a. 任一无互感支路 a-b

$$I_{ab} = \frac{V_{ab \cdot D}}{\bar{Z}_{ab}} \quad (24)$$

b. 任一互感支路 s-t

$$I_s = Y_{st-st} V_{s \cdot D} + Y_{st-em} V_{em \cdot D} \quad (25)$$

## 3 计算实例

在无开断支路, 开断 1~3 支路和开断 1~3、1~2 支路三种运行方式下, 分别计算:

(1) 2~3 支路单相断线又发生非全相振荡时;

(2) 2~3支路上距2号母线  $K=0.8$  处发生单相接地短路时;

(3) 2~3支路上距2号母线  $K=0.1$  处发生单相接地短路2号母线侧先跳开(相继动作)时;

母线3的零序电压和3-D支路零序电流。

网络如图5所示

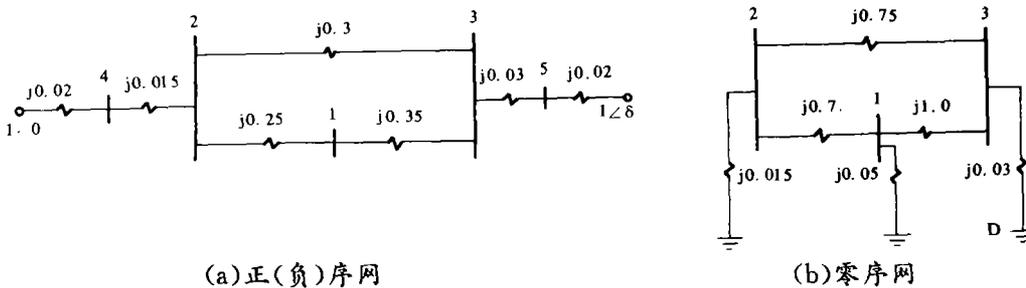


图5

计算结果见表1.

表1

| 故障类型<br>开断支路  | 2~3支路单相断线又发生非全相振荡 |            | 2~3支路上距2号母线 $K=0.8$ 处发生单相接地短路 |            | 2~3支路上距2号母线 $K=0.1$ 处发生单相接地短路, 母线2侧先跳开 |            |
|---------------|-------------------|------------|-------------------------------|------------|--|------------|
|               | $V_{3(0)}$        | $I_{3(0)}$ | $V_{3(0)}$                    | $I_{3(0)}$ | $V_{3(0)}$                             | $I_{3(0)}$ |
| 无开断           | -0.026015         | -0.867164  | 0.076861                      | 2.562032   | 0.021816                               | 0.727186   |
| 开断1~3         | -0.030389         | -1.012973  | 0.078298                      | 2.609918   | 0.022305                               | 0.743504   |
| 开断1~3<br>和1~2 | -0.030380         | -1.012673  | 0.078306                      | 2.610190   | 0.022305                               | 0.743504   |

## 4 结论

本文将补偿原理用于网络拓扑结构变化时的故障计算中,使网络拓扑结构变化时的故障计算明显简化。本文算法的特点是:(1)对追加和切除支路及参数变化支路的支路总数,在数量上没有限制;(2)不修改原网正(负)序和零序节点阻抗阵或节点导纳阵,一步就可完成网络拓扑结构变化时的故障计算;(3)各种故障的计算方法相似,便于编制程序。

本文的基本思想,同样适用于处理零序互感线路参数发生变化或故障的情况,本文作者正在做这方面的工作。

## 参 考 文 献

- 1 米麟书、陈刚、刘芳宁. 变结构与变参数大型电力系统非对称断相故障电气量值的快速计算. 电力系统自动化, 1992, 3
- 2 陈永琳. 多机系统振荡时断线故障的计算机解法. 东北电力学院学报, 1985年(1).
- 3 曹国臣. 零序电流保护的计算机整定计算方法. 东北电力学院硕士学位论文, 1984年12月
- 4 220~500kV 继电保护软件包原则. 东北电管局调度局、东北电力学院, 1988年2月