

继电保护整定计算中互感支路电流的快速计算

曹国臣 东北电力学院(132012)

摘要 本文系统地研究了继电保护整定计算中互感支路电流的计算方法,导出了非对称断相、非母线短路、单端切除、相继动作、停电检修等运行方式下,快速计算互感支路电流的新方法。实际应用表明,文中算法正确有效。

关键词 继电保护整定计算 快速计算互感支路电流

引言

因继电保护的整定值不能随电力系统运行方式的变化而自动改变,要取得合理的整定值,整定计算过程中必须考虑电力系统可能出现的各种运行方式^[1]。因此,如何计算非对称断相、非母线短路、单端切除、相继动作、停电检修时的互感支路电流,关系到继电保护的整定计算速度。

鉴于目前尚未有系统地介绍在各种运行方式下快速计算互感支路电流的报道,本文介绍一下在开发高压电网继电保护整定计算软件包^[2]时,提出的在各种运行方式下快速计算互感支路电流的新方法。

1 计算方法

设 $i-j$ 支路与一组支路 $p-q$ 有互感,见图 1。相应的分块支路导纳阵为:

$$\begin{bmatrix} I_{ij} \\ I_{pq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{ij-ij} & Y_{ij-pq} \\ Y_{pq-ij} & Y_{pq-pq} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{ij} \\ V_{pq} \end{bmatrix}$$

式中 I_{ij} 、 I_{pq} 为互感支路电流;

V_{ij} 、 V_{pq} 为互感支路两端的电压;

Y_{ij-ij} 、 Y_{ij-pq} 、 Y_{pq-ij} 、 Y_{pq-pq} 为互感支路的自导纳和互导纳,已在形成电力系统零序节点导纳阵或阻抗阵时求得。

1.1 非对称断相的计算

设 $i-j$ 支路上 i 母线侧发生非对称断相故障,断相后新出现的节点称为 t ,见图 2。

由图 2,互感支路电流方程变为:

$$\begin{bmatrix} I_{ij} \\ I_{pq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{ij-ij} & Y_{ij-pq} \\ Y_{pq-ij} & Y_{pq-pq} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{ij} \\ V_{pq} \end{bmatrix}$$

利用上式计算互感支路电流,需要计算 t 点电压,而 t 点不是原网节点,应消去 t 点电压以使计算简化。由图 2 可见:

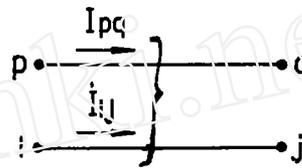


图 1 互感支路组

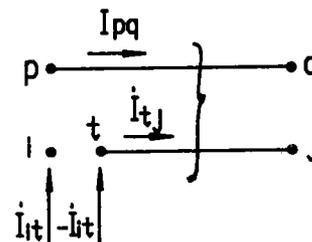


图 2 非对称断相

$$I_{ij} = -I_{it} \quad (1)$$

将 1 式代入互感支路电流方程,并消去电压 V_{ij} 后:

$$I_{pq} = (Y_{pq-pq} - \frac{Y_{pq-ij}Y_{ij-pq}}{Y_{ij-ij}})V_{pq} - Y_{pq-ij} \frac{I_{it}}{Y_{ij-ij}} \quad (2)$$

式中 V_{pq} 、 I_{it} 已在非对称断相计算中求得。

1.2 非母线短路的计算

设 $i-j$ 支路上距 i 母线 K 百分点处发生短路故障,见图 3。

由图 3,非母线故障时互感支路电压方程增加一阶:

$$\begin{bmatrix} V_{id} \\ V_{pq} \\ V_{dj} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} KZ_{ij-ij} & KZ_{ij-pq} & 0 \\ KZ_{pq-ij} & Z_{pq-pq} & (1-K)Z_{pq-ij} \\ 0 & (1-K)Z_{ij-pq} & (1-K)Z_{ij-ij} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{id} \\ I_{pq} \\ I_{dj} \end{bmatrix}$$

将上式求逆,就得到互感支路电流,但这种方法需修改互感支路阻抗阵并要求逆计算,而且对于不同的 K 值,需重新进行修正和求逆,计算量较大。为利用原网互感支路导纳阵计算非母线故障时的互感支路电流,进行如下恒等变形:

由图 3 可见:

$$I_{dj} = I_d + I_{id} \quad (3)$$

将 3 式代入互感支路电压方程,整理后:

$$\begin{bmatrix} \frac{V_{id}}{K} \\ V_{pq} - (1-K)Z_{ij-pq}I_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{ij-ij} & Z_{ij-pq} \\ Z_{pq-ij} & Z_{pq-pq} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{id} \\ I_{pq} \end{bmatrix}$$

考虑到非母线故障时,故障点的电压为:

$$V_d = KV_j + (1-K)V_i + K(1-K)Z_{ij-ij}I_d$$

因此有:

$$\begin{bmatrix} V_{ij} - (1-K)Z_{ij-ij}I_d \\ V_{pq} - (1-K)Z_{ij-pq}I_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{ij-ij} & Z_{ij-pq} \\ Z_{pq-ij} & Z_{pq-pq} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{id} \\ I_{pq} \end{bmatrix}$$

由上式可解得:

$$\begin{bmatrix} I_{id} \\ I_{pq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{ij-ij} & Y_{ij-pq} \\ Y_{pq-ij} & Y_{pq-pq} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{ij} \\ V_{pq} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1-K \\ 0 \end{bmatrix} I_d \quad (4)$$

式中 V_{ij} 、 V_{pq} 、 I_d 已在非母线短路故障计算中求得。

1.3 单端切除时的计算

设 $s-t$ 支路 s 侧单端切除,新出现的节点称为 s' ;单端切除后, $i-j$ 支路上距 i 母线 K 百分点处发生短路故障,见图 4。

根据 4 式,互感支路电流方程为:

$$\begin{bmatrix} I_{id} \\ I_{pq} \\ I_{s't} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{ij-ij} & Y_{ij-pq} & Y_{ij-st} \\ Y_{pq-ij} & Y_{pq-pq} & Y_{pq-st} \\ Y_{st-ij} & Y_{st-pq} & Y_{st-st} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{ij} \\ V_{pq} \\ V_{s't} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1-K \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} I_d$$

由于 s' 点不是原网节点,应将其消去,由图 4 可见:

$$\left. \begin{aligned} I_{s't} &= 0 \\ I_{dj} &= I_d + I_{id} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

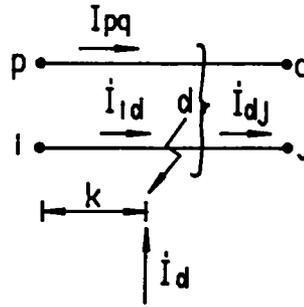


图 3 非母线短路

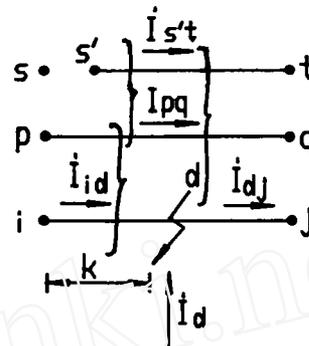


图 4 单端切除

将 $I_{st}=0$ 代入互感支路电流方程,并消去 V_{st} :

$$\begin{bmatrix} I_{id} \\ I_{pq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{ij-ij} - \frac{Y_{ij-st}Y_{st-ij}}{Y_{st-st}} & Y_{ij-pq} - \frac{Y_{ij-st}Y_{st-pq}}{Y_{st-st}} \\ Y_{pq-ij} - \frac{Y_{pq-st}Y_{st-ij}}{Y_{st-st}} & Y_{pq-pq} - \frac{Y_{pq-st}Y_{st-pq}}{Y_{st-st}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{ij} \\ V_{pq} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1-K \\ 0 \end{bmatrix} I_d \quad (6)$$

式中 V_{ij}, V_{pq}, I_d 已在单端切除计算中求得。

1.4 相继动作时的计算

设 $i-j$ 支路上距 i 母线 K 百分点处发生短路且 i 侧三相先跳开(发生相继动作),见图 5,图中新出现的节点称为 t 点。

根据 4 式,互感支路电流方程为:

$$\begin{bmatrix} I_{id} \\ I_{pq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{ij-ij} & Y_{ij-pq} \\ Y_{pq-ij} & Y_{pq-pq} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{ij} \\ V_{pq} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1-K \\ 0 \end{bmatrix} I_d$$

由于 t 点是新增节点,应将其消去,由图 5 可见:

$$\left. \begin{aligned} I_{td} &= 0 \\ I_{dj} &= I_d \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

将 $I_{td}=0$ 代入互感支路电流方程,并消去电压 V_{ij} 后:

$$I_{pq} = (Y_{pq-pq} - \frac{Y_{pq-ij}Y_{ij-pq}}{Y_{ij-ij}})V_{pq} + (1-K)\frac{Y_{pq-ij}}{Y_{ij-ij}}I_d \quad (8)$$

式中 V_{pq}, I_d 已在相继动作计算中求得。

1.5 停电检修时的计算

设 $s-t$ 支路停电检修时, $i-j$ 支路上距 i 母线 K 百分点处发生短路故障,见图 6,图中新出现的节点称为 s' 和 t' 。

根据 4 式,互感支路电流方程为:

$$\begin{bmatrix} I_{id} \\ I_{pq} \\ I_{s't'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{ij-ij} & Y_{ij-pq} & Y_{ij-st} \\ Y_{pq-ij} & Y_{pq-pq} & Y_{pq-st} \\ Y_{st-ij} & Y_{st-pq} & Y_{st-st} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{ij} \\ V_{pq} \\ V_{s't'} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1-K \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} I_d$$

由于 s' 点和 t' 点是新增节点,应将其消去,由图 6 可见:

$$\left. \begin{aligned} V_{s't'} &= 0 \\ I_{dj} &= I_d + I_{id} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

将 $V_{s't'}=0$ 代入互感支路电流方程,并简化:

$$\left. \begin{aligned} \begin{bmatrix} I_{id} \\ I_{pq} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} Y_{ij-ij} & Y_{ij-pq} \\ Y_{pq-ij} & Y_{pq-pq} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{ij} \\ V_{pq} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1-K \\ 0 \end{bmatrix} I_d \\ I_{s't'} &= Y_{st-ij}V_{ij} + Y_{st-pq}V_{pq} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

式中 V_{ij}, V_{pq}, I_d 已在停电检修计算中求得

2 算法校核

文中算法已在高压电网继电保护整定计算软件包中的零序电流保护整定计算程序中实际

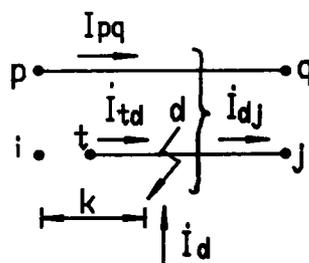


图 5 相继动作

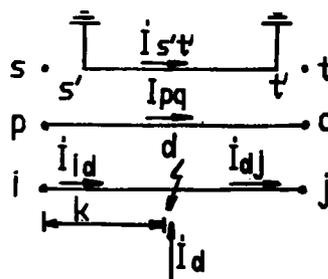


图 6 停电检修

应用,相应的程序框图如图7所示,该软件包已通过部级鉴定,并在东北网数家运行、设计部门实际使用,结果表明文中算法正确有效。

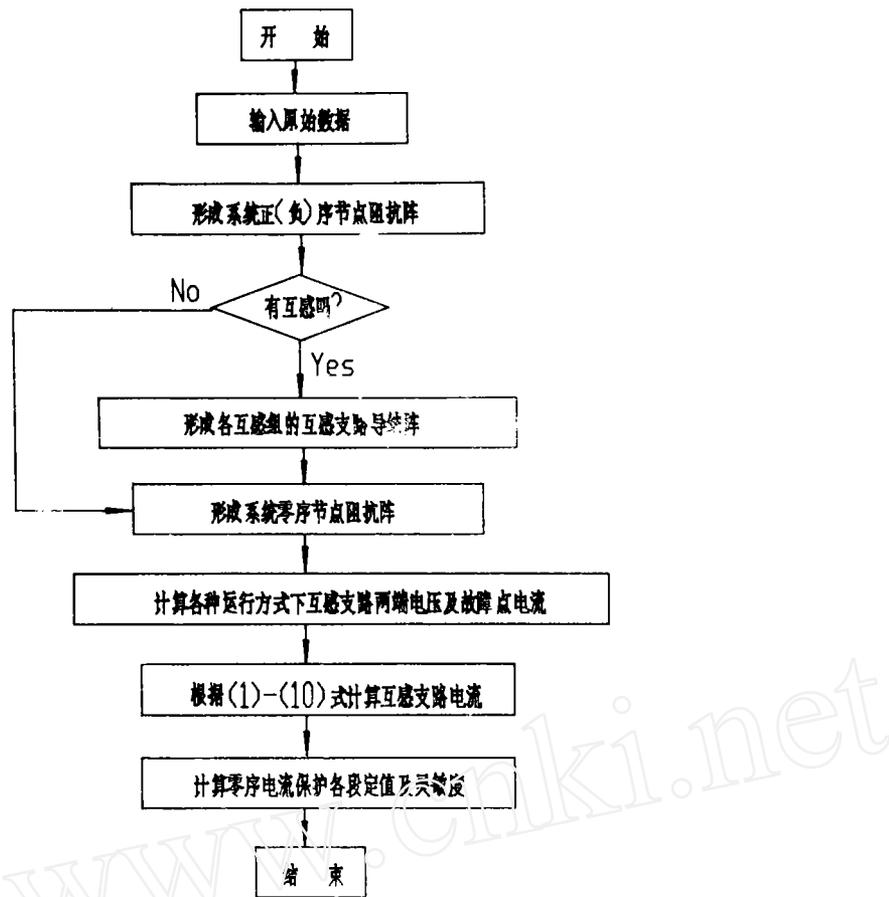


图7 零序电流保护整定计算程序原理框图

3 结论

本文提出了继电保护整定计算中互感支路电流的快速计算方法。此方法不受互感支路接线型式及互感支路条数的限制,计算速度快,在实际应用中收到了满意的效果。

参考文献

- 1 东北电管局、东北电力学院. 220~500kV 电网继电保护软件包原则. 1988 年
- 2 东北电力学院、东北电管局. 高压电网继电保护整定计算软件包. 1991 年