

电力系统简单零序电流保护整定程序的研究

湖北省电力中心调度所 王广学 王珍珍

摘 要

本文主要介绍了电力系统零序电流保护整定计算程序中有关数据处理方法及其数学模型。论述了在结点阻抗的基础上,如何对相关的阻抗元素进行支路追加的方法。

本文附有计算结果实例,采用中文输出,程序输出结果可以直接装订成册。

一、概 述

众所周知,大电流接地电力系统零序电流保护整定计算是相当复杂的。一般总是要进行大量的接地短路电流计算和众多运行方式下的分支配合系数的计算。目前,普遍采用的计算机进行短路电流计算的整定方法,需要人工考虑运行方式并输入给计算机,这将是比较繁琐的,有时还可能出现考虑不周等情况。对于这么多的计算结果,又需要人工整理,这将是相当费时的。为了有效地解决这些问题,我们编制了这套程序,即《电力系统简单零序电流保护整定程序》,它可以比较理想地进行零序电流的保护整定计算。本程序可自动地进行零序电流保护第I段的整定计算,输出其I段的一次和二次定值;计算并输出与相邻线路配合的分支系数;进行灵敏度分析校验并输出小方式下的第I段保护范围。

采用本程序进行零序电流保护整定计算可以大大地节约整定时间,提高保护的整定质量。本程序采用中西文相结合的输入、输出方式,输出结果可以直接装订成册,大大地减少了方案的书写整理工作。

本程序计算湖北省电力系统的某些开关的定值,结果完全正确。

二、数学模型

本程序在已经形成网络结点阻抗矩阵的基础上进行整定计算。系统运行方式的变化,采用支路追加法。有关支路追加的方法及计算公式可参阅文献〔1〕、〔2〕。本程序还计算零序电流第I段的保护范围及非全相运行状态下的零序电流,有关非全相运行的计算可参阅文献〔3〕;有关保护范围的计算可参阅文献〔4〕。本文主要对支路追加的方法详细介绍。

本程序采用的对结点阻抗矩阵的追加,并不是对全网结点阻抗元素进行修改,而是对少量的相关元素进行追加修改。这就涉及到哪些是与此计算相关的问题。经分析,这

些相关元素是：要检修线路（或元件）的两侧（或单侧）结点；故障线路两侧结点；要输出支路的两侧结点的自阻抗以及以上结点之间的转移阻抗。故应首先选出这些相关结点。

1. 相关结点及相关元素的选取。

如果在某一方式下要修改N个元件，则可把要检修支路的两侧或单侧结点进行顺序地排列，用矩阵向量表示如下：

$$I = [1, 2, 3 \dots l]^T \quad (1)$$

l——N个元件的结点数之和， $l \leq 2N$

如果要检修支路是一般支路，其两侧结点参加顺序排列，如果是电源或零序接地支路，一个结点参加排列。

如果要输出的支路为M，也应按如上所述方法顺序地排列在I矩阵内，同理故障线路两侧结点也应紧接检修支路填入I内。所谓故障线路是指所计算的故障发生在此线路上。如果不指定故障点在线路中间，则故障点在故障线路前一个结点上。这里假定故障线路两侧结点是i、j，顺序排列如下：

$$I' = [1, 2 \dots l \ i \ j \dots s]^T \quad [(S \leq 2(N+M+1))] \quad (2)$$

S——检修支路，故障支路及输出支路结点之和。

这样就可按I'中所列结点排列出上三角阻抗矩阵如下：

$$Z = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1i} & Z_{1j} & Z_{1i} & \dots & Z_{1s} \\ & Z_{22} & \dots & Z_{2i} & Z_{2j} & \dots & Z_{2s} \\ & & & \text{"} & \text{"} & \text{"} & \dots & \text{"} \\ & & & Z_{i1} & Z_{ij} & Z_{ij} & \dots & Z_{is} \\ & & & & Z_{ji} & Z_{ji} & \dots & Z_{js} \\ & & & & & Z_{ji} & \dots & Z_{js} \end{pmatrix} \quad (3)$$

这样就选出了要追加支路用到的相关阻抗元素。如果检修支路是零序有互感耦合线路，并且是非两端共端的线路，则在检修支路结点后顺序地排入I'内。如果故障线路和要输出支路是互感耦合非共端线路，也应按以上方法处理。有关互感支路的挂地线检修和故障跳开的追加处理，请参阅文献〔1〕，这里不再详述。

2. 对Z矩阵进行支路追加

(1) 追加第一条支路

如果是一般线路，则Z矩阵的元素从第三行开始修改，计算公式是：

$$Z'(k, l_1) = Z(k, l_1) - \frac{[Z(1, k) - Z(2, k)] [Z(1, l_1) - Z(2, l_1)]}{Z(1, 1) + Z(2, 2) - 2Z(1, 2) - X_1} \quad (k=3, l+2; \quad l_1=k, l+s+2) \quad (4)$$

其中：X₁为第一条要检修支路的阻抗参数。

如果是电源或零序接地支路，则应从第2行开始修改，计算公式如下：

$$Z'(k, l_1) = Z(k, l_1) \frac{Z(1, k) * Z(1, l_1)}{Z(1, 1) - X_1}$$

$$(k = 2, l + 2; \quad l_1 = k, l + s + 2) \quad (5)$$

(2) 追加第p条支路

这里假定在追加第p条支路以前, 已经追加了t条一般支路, R条电源(或接地)支路。

如果追加的是一般支路, 则从第(2t+R+3)行开始进行修改Z矩阵中的元素, 追加公式如下:

$$Z'(k, l_1) = Z(k, l_1) - \frac{[Z(l_2, k) - Z(l_3, k)] [Z(l_2, l_1) - Z(l_3, l_1)]}{Z(l_2, l_2) + Z(l_3, l_3) - 2Z(l_2, l_3) - X_P}$$

$$(k = 2t + R + 3, l + 2; \quad l_1 = k, l + s + 2) \quad (6)$$

其中: $\begin{cases} l_2 = 2t + R + 1 \\ l_3 = 2t + R + 2 \end{cases}$

如果, 第P条支路是电源或接地支路, 则追加从Z矩阵的第(2t+R+2)行开始, 追加公式如下:

$$Z(k, l_1) = Z(k, l_1) - \frac{Z(l_2, k)Z(l_2, l)}{2Z(l_2, l_2) - X_P}$$

$$(k = 2t + R + 2, l + 2; \quad l_1 = k, l + s + 2) \quad (7)$$

其中: $l_2 = 2t + R + 1$

以上计算均在Z矩阵中进行, 计算结果还放入对应的Z阻抗矩阵中。

3. 零序短路电流的计算

通过以上的支路追加, 最后可得到与故障线路两侧结点有关的两列阻抗元素(正序和零序各两列)。此后可进行各种短路电流计算, 设两列阻抗矩阵为:

$$Z_i = [Z_{ii} \quad Z_{ij} \quad \dots \quad Z_{is}]^T \quad (8)$$

$$Z_j = [Z_{ji} \quad Z_{jj} \quad \dots \quad Z_{js}]^T \quad (9)$$

这两列阻抗元素是故障线路两侧结点与输出支路两侧结点的转移阻抗, 都是追加修改后的阻抗元素。从 Z_i 或 Z_j 的第三个元素开始分别是输出支路的依次结点。

(1) 故障点在i结点

不难求得单相接地的故障点总零序电流为:

$$I_{K0} = \frac{1}{Z_{ii(0)} + 2Z_{ii(1)}} \quad (10)$$

两相接地的故障点总零序电流为:

$$I_{K0} = \frac{1}{Z_{ii(1)} + 2Z_{ii(0)}} \quad (11)$$

式中, 下脚标(1)表示正序, 下脚标(0)表示零序。

如果要输出某线路的两侧结点为P和Q, 则i结点故障时, P-Q线路的零序电流为:

$$I_0 = \frac{Z_{iP(\infty)} - Z_{iQ(\infty)}}{X_{PQ}} I_{K0} \quad (12)$$

式中： X_{PQ} —PQ线路的零序阻抗

(2) 故障点在如图1所示的位置

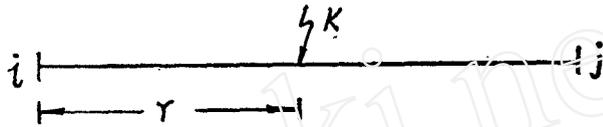


图 1

这时故障点的总阻抗为：

$$Z_{KK} = (1-r)^2 Z_{ii} + r^2 Z_{jj} + 2r(1-r) Z_{ij} + r(1-r) X_{ii} \quad (13)$$

这样就可以用 Z_{KK} 代入(10)式和(11)式中的 Z_{ii} ，求出故障点的总零序电流。

此时P—Q线路的电流是：

$$I_0 = \frac{Z_{KP(\infty)} - Z_{KQ(\infty)}}{X_{PQ}} I_{K0} \quad (14)$$

式中： $Z_{KP} = (1-r) Z_{iP(\infty)} + r Z_{jP(\infty)}$

$Z_{KQ} = (1-r) Z_{iQ(\infty)} + r Z_{jQ(\infty)}$

(3) 故障点在j结点

在此时用 Z_{jj} 代替(10)和(11)式中的 Z_{ii} ，求出故障点的零序总电流。同时可求得电流为：

$$I_0 = \frac{Z_{jP(\infty)} - Z_{jQ(\infty)}}{X_{PQ}} I_{K0} \quad (15)$$

(4) 线路非全相运行

故障线路非全相运行时，分析计算方法可参阅文献[3]，这里不再详述。

(5) 零序电流保护第I段的求取

有关保护范围的求取，可以直接从 Z_1 、 Z_2 两列阻抗元素中求得，详阅文献[4]。

完成以上计算后，程序自动地对第I段进行整定，输出其一次和二次定值及其保护范围。并且还计算与相邻线路的分配系数及其对灵敏度进行校验。

三、程序的功能

1. 可对线路的零序电流第I段进行整定：

本程序采用单个开关独立整定的办法，也就是说，一个开关整定完后对下一个开关进行整定。当从键盘输入某开关的结点号及支路号时，程序自

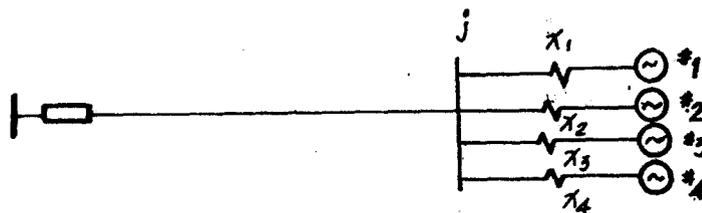


图 2

动地把开关所在支路的对侧结点的相邻支路列出参加轮换检修，轮换检修的数目由整定人员选择。整定人员还可指定相邻线路之外的线路检修，这主要解决环网解环短路电流

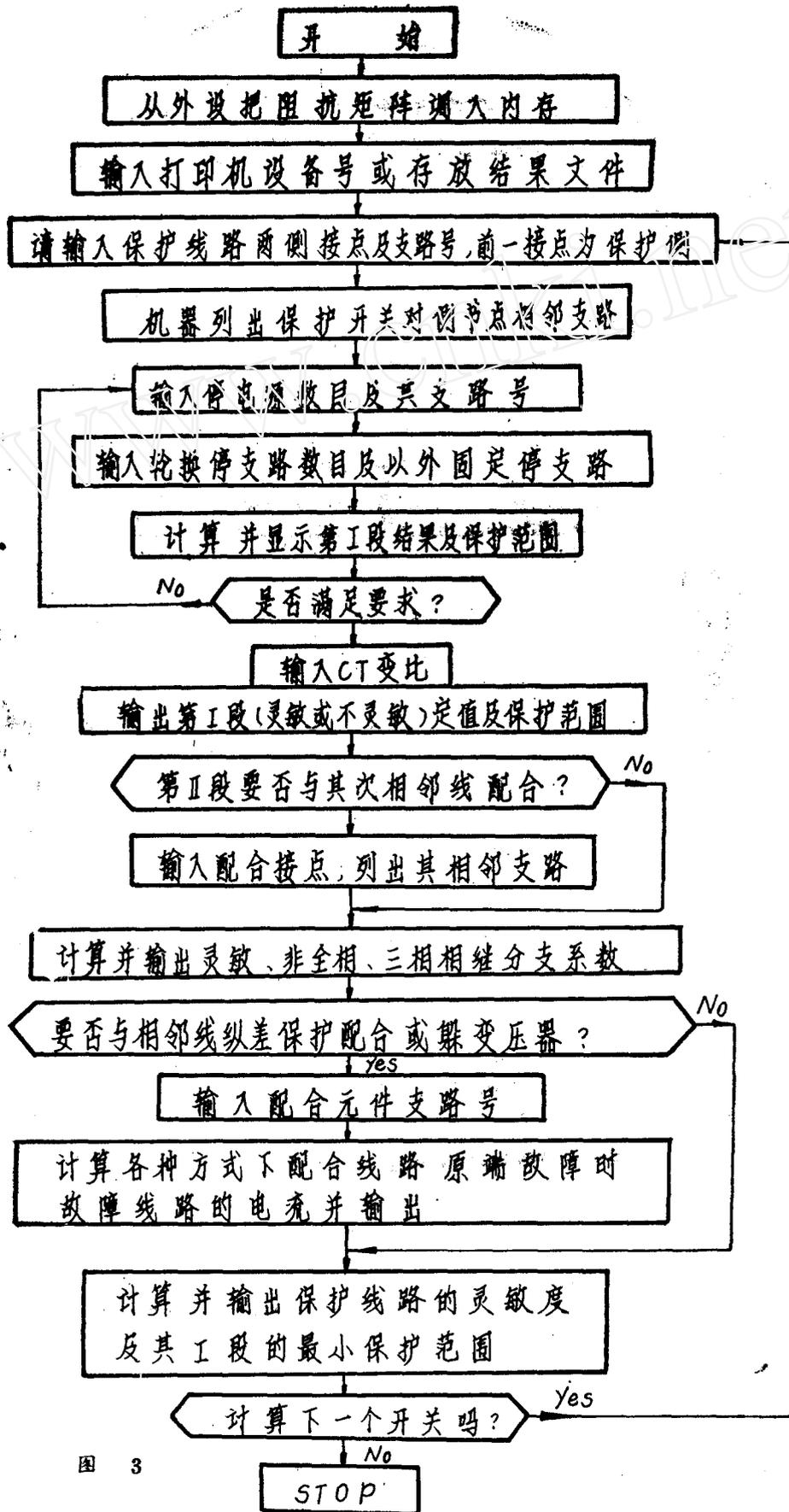


图 3

STOP

的问题。对于电源支路或接地支路，因为一般是同一母线上的，程序采用集中追加的办法。如果某开关对侧大母线 j （如图2）上有四台机组，安排两台检修，处理方法如下。

如图所示，如果 $\#_1$ 、 $\#_3$ 机组检修，在 j 结点追加的支路是：

$$X_j = -X_1 // X_3 = -\frac{X_1 X_3}{X_1 + X_3} \quad (16)$$

2. 与相邻线路配合分支系数的计算

当第I段整定完后，紧接着需要对其第II段进行整定，整定第II段就需要与相邻线路的第I（或第II）段进行配合。这就需要计算出与其相邻线路配合的分支系数。分支系数计算一般要计算更多的运行方式，有时还要和次相邻线路配合。例如与保护对侧相邻变压器低压侧出线配合。本程序只计算输出各种运行方式下的与各相邻线路配合的分支系数，分支系数包括：相继动作，非全相及相邻线末端短路等分支系数。配合（时间、定值）由人工整定。我们还编制了《电力系统零序电流保护整定程序》它可完成全系统的整定工作。

3. 计算零序电流第I段的保护范围：

本程序除计算正常方式下的保护范围外，还计算最小的保护范围。

4. 灵敏度校验计算：

程序自动地把开关安装侧所在结点的相邻支路列出参加轮换检修，计算出开关的最小短路电流。

四、总框图

由于篇幅限制，这里仅绘出总框图如图3。

五、结 论

本程序采用数学模型新，计算速度快，使用灵活方便，采用中西文输入/输出方式，输出结果清晰。计算结果准确、可靠。

参考文献

1. 电力系统计算机分析计算中有关零序互感的分析研究 王广学 王珍珍
《继电器》86、2、No23页
2. 电力系统故障分析 华北电力学院 刘万顺
3. 电力系统非全相运行分析计算方法的研究 王广学、王珍珍 《电力系统自动化》
4. 电力系统接地短路故障点的分析计算方法 王广学 《继电器》86、3 17页