

# 阻抗继电器动作特性的数字计算

华东电力设计院 俞鸣元

## 内 容 提 要

阻抗继电器在复阻抗平面上的动作特性能明确展示出继电器的保护范围与容许过渡电阻等性能, 颇为直观。但一般由于对侧电源与非故障相电流对故障电阻的助增等影响, 其动作特性并不像理论分析所指出的那样, 是一个简单的圆。尤其对第二类阻抗继电器其动作特性与系统参数有关, 不能简单地用测量阻抗来表示。数字计算能得出特定情况下的确切动作特性, 对于分析了解继电器的性能、比较各种方案的优缺点、以及事故计算等有参考价值。数字计算配合常用的解析法可加深对继电器性能的认识。

本文介绍了应用数字机计算阻抗继电器动作特性的基本思路与方法。所使用的计算程序适用于双侧电源单回线模拟网络, 能计及线路输送功率、相间弧光电阻、两侧电势差别、零序电流移相等因素, 便于观察系统振荡对保护的影响。该程序可计算在保护的正方向或反方向故障时, 多相补偿接地距离、方向阻抗、故障相记忆方向阻抗、偏移方向阻抗等继电器的动作特性。还介绍了原始数据输入、计算结果输出、控制台变量置数等程序使用方法以及非故障相偏移特性阻抗选相元件误动的可能、领先相全阻抗接地距离继电器在两相接地故障时超越误动的可能等应用举例。

## 前 言

一般认为对于接入多于两个量的阻抗继电器，即所谓第二类继电器，其动作特性不能简单地在阻抗平面上用测量阻抗来表示，分析比较困难。近年来，为改善阻抗继电器的动作特性，其极化回路除了采用记忆措施以外，往往接入非故障相电压；再由于多相补偿继电器的应用，对第二类继电器的深入分析益感迫切。因此，各方面提出了许多卓越的分析方法，对各种第二类阻抗继电器的性能得到了进一步的认识，取得了很大的成果，但是，一般的理论分析为了使分析过程不太复杂，向量图清晰明了，在分析某一因素对动作特性的影响时，往往要对其他因素作一些假定，如：电源的正序阻抗与零序阻抗相等，电源与线路的阻抗角相同，电弧电阻与杆塔电阻成一定比例，等等，而且往往感到在作向量图求解时，不易画得很精确，以得到定量的结论。本文从另一侧面着手，用数字机计算了阻抗继电器在过渡电阻变化时的动作情况以得出连续的动作特性，感到作为理论分析的补充似乎有一定的价值。理论分析可以得出继电器动作特性的概念，以及各个因素对动作条件的影响，而数字计算可得出某一种特定情况下的精确数据。根据理论分析所指出的极端条件来具体计算继电器的动作情况要比分析更为精确，同时，通过计算还可发现一些易于在分析中被忽视的情况。通过数字计算可找出在某些条件下继电器是否动作的确切结论，从这一方面讲，数字计算与静模试验具有类似的效果，而前者在参数改变方面是颇为方便的。因此，数字计算与理论分析相配合可对阻抗元件的动作性能获得更全面的认识；对运行整定可提供准确的定量参考。对我们来说这种方法仅是一种尝试，是否正确，是否可行，还请兄弟单位指正，补充。

## 一、数字计算的基本思想

一般的阻抗继电器动作分析是应用解析法或配合作向量图来研究其在各种情况下的动作特性。数字计算的基本思想是把在被保护线路上逐点发生故障所容许的过渡电阻数值计算出来，再在以被保护线路电抗为纵座标，以过渡电阻为横座标的阻抗平面上联成动作特性曲线。

计算法是把被保护线路等分成若干点，从保护安装处开始逐点向外推移设置短路故障，对每一故障点又选取故障点的过渡电阻从零开始逐步增大。对每一故障点的每一过渡电阻数值计算短路参数（保护安装处的电流与电压）据以判断继电器是否动作。当阻抗元件由动作转变为不动作时的过渡电阻数值即是动作边缘，据此绘出阻抗元件在阻抗平面上的动作特性曲线。

计算的基本方法是应用对称分量法，先算出流过继电器的短路电流与保护安装处的母线残余电压，再据以算出各相补偿电压，根据继电器的动作条件来判断其是否动作。

为了便于观察分析电势摆开对继电器的影响，也为了计算方便，选取双侧等值电源经单回被保护线路相联的模拟网络进行计算。

## 二、计算方法及一些问题的处理

### 1. 模拟网络与参数的选定

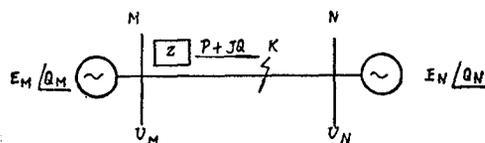
有了数字计算机以后，一般总是希望针对与实际电力系统相接近的大型模拟网络进行计算，以期得到与实际情况比较符合的结果。目前的潮流计算与稳定计算都是这样做的。但对于继电保护动作特性的分析，采用复杂的大型网络进行计算不一定合适。这是由于模拟网络中任一元件的参数有所变化，如任一电源的相角变化，均将影响阻抗元件的动作情况。要分析系统运行方式对继电保护的影响，涉及因素很多，不易得到重点突出、简单清晰的结论。如以双侧电源单回线来进行计算，就能突出地比较线路——电源阻抗比，以及两侧电势变化对继电保护的影响。事实上所用双侧电源模拟网络的参数如是根据大型网络归并、简化所求得的等值阻抗，则对接入继电器的电流、电压来说，两种情况是一样的。所以按这样的模拟所编制的程序将大为简化，计算时间也可大为缩短，而计算结论完全合乎要求。

计算用的模拟网络如图 1 所示。

为了使阻抗继电器动作特性的计算条件能与电力系统的潮流、稳定计算相一致，模拟网络的各个电源阻抗也可由潮流、稳定计算的网路经归并后求得。不论潮流、稳定计算的网路如何完整、复杂，在仅计算被保护线路上的故障与故障参数时，均可归并成图 2 所示的等值网络。

上述等值阻抗可由稳定计算的中间结果，即故障线路两侧的短路电流与母线残余电压来计算，将另行整理材料介绍。

只要稳定计算的网路结线不变,即:不发生切除发电机、切除负荷、投入电气制动电阻、断开输电线路、考虑负荷动态特性等情况,稳定计算过程中的等值阻抗保持不变,仅是两侧电势间的相对相角  $\delta = \theta_M - \theta_N$  在摆动而已。在继电保护动作特性计算中,  $\delta$  的数值可根据分析的需要来选取,也可按稳定计算中被保护线路上的振荡功率来推算(见后)。



$R_{1M} + jX_{1M}$	$R_{1L} + jX_{1L}$	$R_{1N} + jX_{1N}$
$R_{2M} + jX_{2M}$		$R_{2N} + jX_{2N}$
$R_{0M} + jX_{0M}$	$R_{0L} + jX_{0L}$	$R_{0N} + jX_{0N}$

图1 计算用的模拟网络

图中:  $Z_L$ ——被保护线路的阻抗

$Z_M, Z_N, Z_{MN}$ ——由稳定计算用网络归并至M、N两端的等值网络阻抗,包括正序、负序和零序阻抗

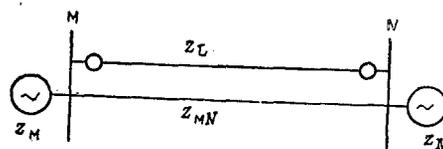


图2 归并后的潮流,稳定计算等值网络

本资料采用双侧电源单回线作为模拟网络(图1)与稳定计算所采用的大型网络比较,虽有重点突出、计算方便的优点,但也有下列特点:

(1) 略去了图2中的旁路联系  $Z_{MN}$ 。考虑到  $Z_{MN}$  的存在仅是改变了线路——电源阻抗比,对继电器的动作情况影响不大,且除了双回线以外,通常  $Z_{MN}$  较  $Z_L$  大得多。因此,所编制的计算程序未计及  $Z_{MN}$  的影响。当然,也可进一步编制计及  $Z_{MN}$  的程序,以求更准确地与稳定计算相配合。

(2) 反向故障未计及本侧母线上其他电源助增的影响。如要考虑这一因素则将导致涉及因素多、重点不突出、以及计算复杂等后果。考虑到在助增的相位差别不太大时,忽略这一助增的影响是造成反向误动的结论偏于严重。因此作为保守的估计,还有一定价值。

(3) 正方向相邻线路故障未计及对侧母线其他电源助增的影响。考虑到阻抗元件动作特性分析中,一般关心的是第一段保护,如助增的相位差别不太大,则助增的有无仅影响超越的程度而不致影响会否超越的结论。要计及这一因素也会引起重点不突出与计算复杂的问题。

需要指出的是,一般的稳定计算中电源阻抗取暂态电抗,而短路电流计算往往取次暂态电抗。为了计算故障瞬间的继电保护动作特性,宜于取次暂态电抗,而计算振荡过

程中的情况却宜取暂态电抗。两者的线路——电源阻抗比不同，继电器的动作特性也会有所差别。

故障点过渡电阻的模拟见图3。对于单相接地故障， $R_A$ 包括在 $R_G$ 中不分开考虑。

计算程序中短路点的位置以线路长度的标么值 $K$ 表示； $K = \frac{Z_{1K}}{Z_{1L}}$ ，过渡电阻的数值以  $K_R = \frac{R_G}{X_{1L}}$  表示。

## 2 阻抗元件的动作判据

所编制的计算程序能一次计算三种多相补偿接地距离继电器或A、B、C三相方向阻抗继电器的动作特性。其动作判据分述如下：

(1) 晶体管型多相补偿接地距离继电器，其动作条件是三相补偿电压与负值零序电流同极性。三相补偿电压分别是：

$$U_{AY} = U_A - (I_A + K_C 3I_0) Z_Y \quad \text{其相位是 } \theta_A \quad \textcircled{1}$$

$$U_{BY} = U_B - (I_B + K_C 3I_0) Z_Y \quad \text{其相位是 } \theta_B \quad \textcircled{2}$$

$$U_{CY} = U_C - (I_C + K_C 3I_0) Z_Y \quad \text{其相位是 } \theta_C \quad \textcircled{3}$$

$I_0$ 的相位是 $\theta_0$ 。

$$\text{取 } \varphi_A = \theta_A - \theta_0 + 180^\circ \quad \textcircled{4}$$

$$\varphi_B = \theta_B - \theta_0 + 180^\circ \quad \textcircled{5}$$

$$\varphi_C = \theta_C - \theta_0 + 180^\circ \quad \textcircled{6}$$

$\varphi$ 是领前 $-I_0$ 的相位

再把 $\varphi_A$ ， $\varphi_B$ ， $\varphi_C$ 按大小次序排列成 $\varphi_1$ ， $\varphi_2$ ， $\varphi_3$ ，即： $\varphi_1$ 的数值是 $\varphi_A$ ， $\varphi_B$ ， $\varphi_C$ 三者中之最大者， $\varphi_3$ 是其中的最小者， $\varphi_2$ 是处于中间的数值。

则动作判据成为： $\varphi_1 < 180^\circ$  或  $\varphi_3 > 180^\circ$  或  $\varphi_1 - \varphi_2 > 180^\circ$  或  $\varphi_2 - \varphi_3 > 180^\circ$

(2) 整流型多相补偿接地距离继电器，其动作条件是各相补偿电压均滞后于零序电流。其动作判据是： $180^\circ > \theta_0 - \theta_A > 0^\circ$  且

$$180^\circ > \theta_0 - \theta_B > 0^\circ \quad \text{且}$$

$$180^\circ > \theta_0 - \theta_C > 0^\circ$$

计算程序中取动作判据： $180^\circ > \varphi_A > 0$  且

$$180^\circ > \varphi_B > 0 \quad \text{且}$$

$$180^\circ > \varphi_C > 0$$

(3) 改进整流型多相补偿接地距离继电器，其动作条件是把整流型多相补偿接地距离继电器的动作范围增大 $\delta$ 。在所编制的程序中取 $\delta = 15^\circ$ 其动作判据是：

$$180^\circ > \varphi_A > (360^\circ - 15^\circ) \quad \text{且}$$

$$180^\circ > \varphi_B > (360^\circ - 15^\circ) \quad \text{且}$$

$$180^\circ > \varphi_C > (360^\circ - 15^\circ)$$

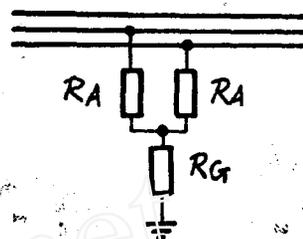


图3 故障点过渡电阻的模拟

(4) 对于方向阻抗继电器, 其动作判据可取为:

$$\text{A相元件 } 270^\circ > |\theta_{U_A} - \theta_A| > 90^\circ$$

$$\text{B相元件 } 270^\circ > |\theta_{U_B} - \theta_B| > 90^\circ$$

$$\text{C相元件 } 270^\circ > |\theta_{U_C} - \theta_C| > 90^\circ$$

其中:  $\theta_{U_A}$ ,  $\theta_{U_B}$ ,  $\theta_{U_C}$  分别为母线三相残余电压的相位角。

(5) 对于偏移特性方向阻抗继电器。

$$U_{AY}' = U_A + (I_A + K_0 3I_0) K_Y' Z_Y \quad \text{其相位是 } \theta_A'$$

$$U_{BY}' = U_B + (I_B + K_0 3I_0) K_Y' Z_Y \quad \text{其相位是 } \theta_B'$$

$$U_{CY}' = U_C + (I_C + K_0 3I_0) K_Y' Z_Y \quad \text{其相位是 } \theta_C'$$

式中:  $K_Y'$  为向第三象限偏移的比值。

其动作判据可取为:

$$\text{A相元件 } 270^\circ > |\theta_A' - \theta_A| > 90^\circ$$

$$\text{B相元件 } 270^\circ > |\theta_B' - \theta_B| > 90^\circ$$

$$\text{C相元件 } 270^\circ > |\theta_C' - \theta_C| > 90^\circ$$

(6) 对于采用故障相记忆的方向阻抗继电器, 由于计算中取故障前保护安装处的 A 相电压为基准值, 其动作判据可取为:

$$\text{A相元件 } 270^\circ > |0^\circ - \theta_A| > 90^\circ$$

$$\text{B相元件 } 270^\circ > |240^\circ - \theta_B| > 90^\circ$$

$$\text{C相元件 } 270^\circ > |120^\circ - \theta_C| > 90^\circ$$

(7) 对于经零序方向闭锁的全阻抗继电器, 其动作判据可取为:

$$\left| \frac{U_\varphi}{I_\varphi + K_0 3I_0} \right| < K_Y | Z_{1L} \quad \text{且 } 340^\circ > \theta_{U_0} - \theta_{I_0} > 160^\circ$$

(8) 对于其他采用各种非故障相电压作为极化电压的阻抗继电器均可列出相应的动作判据进行动作特性计算。

### 3 线路输送功率与系统振荡的影响

线路的负荷电流按迭加法计及。一般, 线路负荷以输送功率表示, 在给出故障前保护安装处的电压以后, 即可从故障前通过保护安装处的输送功率算出负荷电流。

对于双侧电源网络, 线路输送功率是两侧电势幅值与相角差 ( $E_M/E_N = K_E/\delta_E$ ) 的函数。以  $K_E \delta_E$  来表达线路输送功率对分析系统振荡过程中的继电保护动作特性比较方便。振荡过程中可考虑  $K_E$  不变而  $\delta_E$  变化。显然, 母线电压将随  $\delta_E$  的变化而改变, 但考虑到阻抗元件的动作仅与电压与电流的比值有关, 即仅与网络中各个阻抗 (包括网络阻抗与过渡电阻) 以及  $K_E \delta_E$  有关。虽然, 计算中取故障前保护安装处母线电压为在振荡过程中保持不变的基准值这种情况与实际情况不相符合, 所得出的短路电流要比真实情况为大, 但各个电压与电流间的相位关系以及感受阻抗还是与振荡过程中的实际情况相符的。

振荡过程中  $K_E$  不变的假设与稳定计算的实际情况有所不同。稳定计算过程中, 随着时间的推移, 由于各个电源间的相位关系有变化, 虽然每个电势的幅值考虑不变, 其等

值电势的幅值还是有变化的。

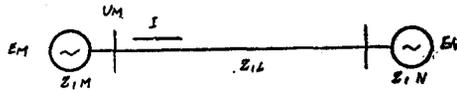


图4 计算输送功率用网络

$K_E$ ,  $\delta_E$ 与输送功率之间的关系推导如下:

(1) 给定 $K_E$ ,  $\delta_E$ , 计算输送功率:

$$\dot{E}_M = K_E \cdot \dot{E}_N / \delta_E$$

$$\begin{aligned} \dot{I} &= \frac{\dot{E}_M - \dot{E}_N}{\dot{Z}_{1M} + \dot{Z}_{1N} + \dot{Z}_{1L}} = \frac{K_E \cdot \dot{E}_N / \delta_E - \dot{E}_N}{\Sigma \dot{Z}_1} \\ &= \frac{\dot{E}_N}{\Sigma \dot{Z}_1} (K_E / \delta_E - 1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_M &= \dot{E}_N + \dot{I} (\dot{Z}_{1N} + \dot{Z}_{1L}) \\ &= \dot{E}_N \left\{ 1 + \frac{\dot{Z}_{1L} + \dot{Z}_{1N}}{\Sigma \dot{Z}_1} (K_E / \delta_E - 1) \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I} &= \frac{\dot{U}_M}{1 + \frac{\dot{Z}_{1L} + \dot{Z}_{1N}}{\Sigma \dot{Z}_1} (K_E / \delta_E - 1)} \frac{K_E / \delta_E - 1}{\Sigma \dot{Z}_1} \\ &= \frac{K_E / \delta_E - 1}{\dot{Z}_{1M} + (\dot{Z}_{1L} + \dot{Z}_{1N}) K_E / \delta_E} \dot{U}_M \end{aligned}$$

程序中取 $U_M$ 为线电压值, 其他电压均为相电压值。

$$P + jQ = \sqrt{3} \dot{I} \cdot \dot{U}_M = U_M^2 \frac{K_E / \delta_E - 1}{\dot{Z}_{1M} + (\dot{Z}_{1L} + \dot{Z}_{1N}) K_E / \delta_E}$$

所编程序以送出无功为正, 上式得出的 $Q$ 要改取负值。

(2) 给定输送功率, 计算 $K_E$ ,  $\delta_E$ :

$$\begin{aligned} \dot{I} &= \frac{P - jQ}{\sqrt{3} \dot{U}_M} \\ \dot{E}_M &= \frac{U_M}{\sqrt{3}} + \dot{I} Z_{1M} \\ \dot{E}_N &= \frac{U_M}{\sqrt{3}} - \dot{I} (\dot{Z}_{1L} + \dot{Z}_{1N}) \end{aligned}$$

$$\frac{\dot{E}_M}{\dot{E}_N} = K_E / \delta_E$$

#### 4 反向故障的计算

本文所述程序是针对计算被保护线路上正向故障而编制的。在对输入的阻抗数据进行变换以后,也可用来进行反向故障的计算。图5中,(a)与(b)两个网络是对等的,即:反向故障的模拟网络(a)在计算范围内发生反向故障时,保护安装处的电流、电压和正向故障对应网络(b)在计算范围内发生正向故障时保护安装处的电流、电压相同,仅是流经继电器的电流两者相位相反。

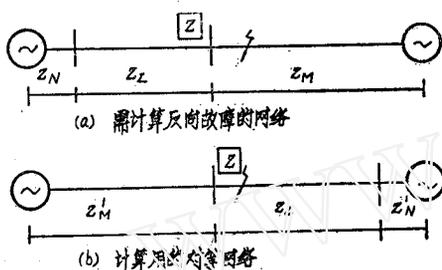


图5 计算反向故障的对应网络

对于图5所示的对应网络,如在图(a)中 $Z_M < Z_L$ 则图(b)中将出现 $Z'_M < 0$ 。好在反向误动情况一般仅在近处短路时出现。因此,当反向故障点远离母线, $N'$ 侧至故障点的阻抗出现负值时,计算没有意义,归纳结果时需予注意。

#### 5 零序电流移相

当零序网络中两侧阻抗的阻抗角不相同,对于采用零序电流比相的阻抗继电器可能由于故障点的零序电流与流过保护装置的零序电流相位不一致而超越误动,因此,需要采取零序电流移相的措施。所编制的计算程序考虑了这一要求,当控制台 $CS_2$ 相应扳键置“1”时,就对参加比相的零序电流的相位向滞后方向移 $\delta$ 角。

$$\delta = -\text{Arg} \frac{Z_{OM} + Z_{OL} + Z_{ON}}{Z_{ON}}$$

程序中考虑零序电流移相 $\delta$ 的方法,是:动作判据一节的④,⑤,⑥三式中 $\varphi = \theta - \theta_0 + 180$  改为  $\varphi = \theta - \theta_0 + 180 + \delta$

当计及零序电流移相的因素时,打印输出  $I_0.\text{shift}. = \delta$ 。

### 三、计算程序的使用

#### 1. 原始数据输入:

计算所需要的原始数据按下列次序输入(模拟网络见图1):

$R_{1M}, X_{1M}, R_{2M}, X_{2M}, R_{OM}, X_{OM},$

$R_{1N}, X_{1N}, R_{2N}, X_{2N}, R_{ON}, X_{ON},$

$R_{1L}, X_{1L}, R_{0L}, X_{0L}, R_A, P, Q, V,$

其中: 阻抗以欧姆值表示

$P, Q$ ——当控制台 $CS_2$ 单元置“0”时, 是M母线通向线路的功率, 以MVA表示, 送出有功 $P$ 取正值, 送出滞后无功 $Q$ 取负值。

$V$ ——M母线, 故障前线电压, 以KV表示。

## 2 控制台变量置数

TQ—16计算机控制台的 $CS_2$ 单元可用以对计算机的00002存贮单元赋值, 在程序计算的过程中起选择控制作用。

$CS_2$ 控制台单元共有一排48个扳键, 自右向左的排列次序是:

……21, 20, 19, 18, 17, 16, 15, 14, 13, 12, 11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1,

扳键向上时00002存贮单元的相应位置“0”, 向下置“1”。其各位扳键置“1”的功能如下:

- 1  $K_s$ 取0.01短路点前移的步长为线路长度的0.01。
- 2  $K_s$ 取0.05短路点前移的步长为线路长度的0.05。
- 3  $K_s$ 取0.2短路点前移的步长为线路长度的0.2。
- 4  $K_Y$ 取0.7阻抗继电器整定阻抗为线路长度的0.7倍。
- 5  $K_Y$ 取1.1阻抗继电器整定阻抗为线路长度的1.1倍。
- 6  $K_Y$ 取0.8阻抗继电器整定阻抗为线路长度的0.8倍。
- 7  $K_i$ 取 $K_Y + K_s$ 短路计算起始点是保护范围末端再向前移一个步长。
- 8  $K_i$ 取 $K_Y - 0.1$ 短路计算起始点是保护范围末端再向内移 $0.1Z_{1L}$ 。
- 9  $K_i$ 取0, 短路计算起始点是线路出口。
- 10 计算反方向故障(扳键向上计算正方向故障)
- 11 要计及零序电流移相
- 12 按 $\frac{E_M}{E_N} = K_E / \delta_E$ 计算, 此时输入的 $P$ 应是 $K_E$ ,  $Q$ 应是 $\delta_E$ 。  
(扳键向上按输送功率为 $P + jQ$ 计算)
- 13 仅计算动作判据1(对于多相补偿阻抗继电器)或A相元件(对于其他各种阻抗继电器)。(扳键向上计算三种动作判据或A, B, C三相三个元件)。
- 14 未用
- 15 对每一短路点, 如 $K_R = 0$ 阻抗元件不动作, 均要按照扳键16—21所选的起始值 $K_{Ri}$ 与步长 $K_{Rs}$ 全面计算阻抗元件在 $K_R \neq 0$ 时是否会动作。(如扳键向上则仅在开始的两个短路点上, 如 $K_R = 0$ 时不动作, 才按照扳键16—21所选的 $K_{Ri}$ 与 $K_{Rs}$ 全面计算, 其余的短路点按前两短路点的计算结果选取 $K_{Ri}$ 与 $K_{Rs}$ 以压缩计算时间)。
- 16  $K_{Rs}$ 取-0.5
- 17  $K_{Rs}$ 取-0.1

1 8  $K_{R_s}$ 取-0.01

1 9  $K_{R_i}$ 取 5

2 0  $K_{R_i}$ 取 1 0

2 1  $K_{R_i}$ 取 2 0

3 计算结果输出

打印输出的主要是数字，即所列字符所代表的量的计算结果。字符下有横线者表示打印输出的是所列的字符。计算结果按下列次序输出：

(1) 输出原始数据供查核

$R_{1M}$   $R_{2M}$   $R_{OM}$   $R_{1N}$   $R_{2N}$   $R_{ON}$   $R_{1L}$   $R_{OL}$   
 $X_{1M}$   $X_{2M}$   $X_{OM}$   $X_{1N}$   $X_{2N}$   $X_{ON}$   $X_{1L}$   $X_{OL}$   
P Q V

(2) 所计算的继电器类型说明

方向阻抗继电器 mho—Relay

带记忆的方向阻抗继电器 mho—Relay—With—memory

偏移特性方向阻抗继电器 offset--mho

$K_{yy}$  = 偏移阻抗整定欧姆值

带零序方向的全阻抗继电器 Imp•With•Po

多相补偿阻抗继电器无打印说明

除了多相补偿阻抗继电器以外，计算其他几种继电器的动作特性各有其相应的修改程序。

(3) 如按输入的两侧电势比值与相角差计算线路输送功率，则打印电势比值，相角差及通过M点的输送功率。

$$\text{Rat. } E = \left| \frac{E_M}{E_N} \right| \quad \text{Delta} = \left/ \frac{E_M}{E_N} \right. \quad \underline{P = P} \quad \underline{Q = Q}$$

(4) 正向故障，打印：\*\*\*\*\* Forward Fault \*\*\*\*\*

反向故障，打印：\*\*\*\*\* Backward Fault \*\*\*\*\*

(5) 如计算中考虑零序电流移相，则打印：Io.Shift.=  $\delta$

(6) 通过M点的输送功率与两侧电势

$$\underline{P = P} \quad \underline{Q = Q} \quad \underline{E_M = E_M} \quad \underline{TH E_M = \theta_{EM}}$$
$$\underline{E_N = E_N} \quad \underline{TH E_N = \theta_{EN}}$$

(7) 故障点位置  $\underline{K = K}$  以被保护线路长度的标么值表示。

(8) 保护动作判据或继电器相别

晶体管型多相补偿接地距离继电器 Sch.1

整流型零序电流比相接地距离继电器 Sch.2

改进整流型零序电流比相接地距离继电器 Sch.3

A相阻抗元件 mho.A.

B相阻抗元件 mho.B.

C相阻抗元件 mho.C.

A相记忆方向阻抗元件 mem.A.

B相记忆方向阻抗元件 mem.B.

C相记忆方向阻抗元件 mem.C.

(9) 故障类型

单相接地故障: \*\*\*LG\*\*\*

两相接地故障: \*\*\*LLG\*\*\*

(10) 在所打出的故障点发生所打出的故障型式时容许的过渡电阻数值, 以  $K_{RP} = \frac{R_G}{X_{1L}} + K \frac{R_{1L}}{X_{1L}}$  表示 ( $K_R = \frac{R_G}{X_{1L}}$ )。过渡电阻值相当于所输出  $K_{RP}$  时, 阻抗元件开始不动作。

① 如容许甚大的过渡电阻, 其值大于计算所取的范围时, 打印:

OP, for,  $K_R \geq K_R$

② 过渡电阻为零时阻抗元件动作, 且能算出容许的过渡电阻时, 打印  $K_{RP}$  与三相补偿电压以及零序电流的相位角。

$K_R = K_{RP} \quad \theta_A \quad \theta_B \quad \theta_C \quad \theta_{I0}$

③ 如过渡电阻为零时阻抗元件不动作, 仅当过渡电阻在某一范围内才动作, 则打印容许过渡电阻的范围, 上限称  $K_{Ri}$  下限称  $K_{Rf}$ 。

$K_{Rf} = K_{RP} \quad \theta_A \quad \theta_B \quad \theta_C \quad \theta_{I0}$

$K_{Ri} = K_{RP} \quad \theta_A \quad \theta_B \quad \theta_C \quad \theta_{I0}$

④ 如过渡电阻甚小时能动作而为零时不动作, 则打印:

$K_R$ .smaller.than.0.01  $K_R = K_R \quad \theta_A \quad \theta_B \quad \theta_C \quad \theta_{I0}$

⑤ 如阻抗元件在过渡电阻的计算范围内不动作, 则打印:

\*\*\*No.OP.\*\*\*  $K_{Ri} = K_{Ri} \quad K_{Ri} = K_{Ri} \quad K_{Rf} = K_{Rf}$

(11) 计算至  $K = 2$ , 打印两张表格

① 各故障点的  $K_{RP}$  或  $K_{Ri}$ , 其排列次序为

LG LLG

K Sch.1. Sch.2. Sch.3. Sch.1 Sch.2 Sch.3

(或: A相 B相 C相 A相 B相 C相)

② 各故障点的  $K_{Ri}$ , 排列次序同上。

#### 四、计算阻抗元件容许过渡电阻的步骤

对于某一故障点, 自 $K_R = 0$ 开始 ( $K_R = \frac{R_G}{X_{1L}}$ ) 按步长 $K_{RS} = 1$ , 计算至 $K_{Rf} = 20$ , 每次计算后根据所定判据判断阻抗元件是否动作, 动作时OP置“1”, 不动作时OP置“0”。当 $K_R$ 增大, 阻抗元件由动作转变为不动作时, 把计算步长 $K_{RS}$ 减小至0.1, 然后再从0.1减小至0.01, 以求得到较细的结果。最后打印输出不动作边缘的 $K_R$ 值, 为了便于绘制动作特性曲线实际输出的是 $K_{RP} = K_R + K \frac{R_{1L}}{X_{1L}}$ 。如 $K_R$ 增加至20仍然动作, 则打印OP.for. $K_R \geq \times \times \cdot \times \times$ 。该故障点计算结束, 按步长 $K_S$ 计算下一个故障点。

如过渡电阻计算的起始点 ( $K_R = 0$ ) 阻抗元件不动作, 则PP置“0”, 按照控制台单元CS<sub>2</sub>第16—21位扳键的位置选取 $K_R$ 的起始计算值 $K_{Ri}$ 为5, 10或20; 步长 $K_{RS}$ 为-0.1, -0.2或-0.5; 最终值 $K_{Rf}$ 为零, 进行计算, 当阻抗元件由不动作转变为动作时把步长减至-0.1与-0.01, 最后打印输出不动作边缘的 $K_R$ 值, 称为 $K_{Rf}$  (其含义是容许过渡电阻的上限, 与前述相同字符的含义为计算最终值不一样), 同时PQ置“1”。继续递减 $K_R$ 值, 循环计算得出 $K_R$ 动作边缘的下限, 打印输出称为 $K_R$ 。如 $K_R = K_{Ri}$ 时也动作, 则打印: OP.for. $K_R \geq \times \times \cdot \times \times$ 。

对于 $K_R = 0$ 阻抗元件不动作的情况, 采用上述计算方式速度较慢, 因此所编制的计算程序考虑了另一种可供选择的方式。当控制台单元CS<sub>2</sub>的第15位扳键置“1”时, 将参考前两个故障点动作边缘上下限选取 $K_R$ 的起始值、终止值与步长来进行计算, 此时由于计算开始的两个故障点时无从参考, 仍按CS<sub>2</sub>选定的起始值与步长进行计算, 自第3个故障点开始才按快速方式计算。

如PP为“0”, 而 $K_R$ 自起始值计算至终止值阻抗元件总是不动作, 则打印: NO.OP.同时输出 $K_R$ 的起始值、终止值与步长以供分析参考。

计算程序中设置OP是为了判别阻抗元件是否已动作; 设置PP与PQ是为了区别所算得的动作边缘是上限、下限还是过渡电阻为零时阻抗元件也会动作。

#### 五、应用举例

##### 1. 相——地接线阻抗继电器在两相接地故障时保护范围的伸长。

保护接地故障的相——地接线阻抗继电器在两相接地故障时领前相元件的保护范围将伸长而滞后相将缩短。图—6 绘出了上海地区220千伏环网中某9.1公里线路上经零序方向闭锁的全阻抗继电器动作特性的计算结果。从图可见; 对于两相接地故障, 当阻抗整定值为线路长度的80% ( $Z_Y = 0.8Z_L$ ) 时, 领前相的动作范围将伸至线路长度的103%, 虽然由于未计及助增的影响这一数值并不十分确切, 但保护范围将伸至相邻线出口这一结论还是明确的; 当 $Z_Y = 0.7Z_L$ 时, 动作范围将伸至线路长度的91%, 不致于伸出本线

路末端。从图—6 还可看到, 当整定阻抗减小时, 容许过渡电阻的数值也将减少, 如在 20% 线路长度处的单相接地故障,  $Z_Y = 0.8Z_L$  时, 容许过渡电阻约为 2 欧, 而  $Z_Y = 0.7Z_L$  时约为 1.67 欧, 约减少 16.7%。

### 2 单相接地故障时非故障相选相元件误动可能的计算

由于过渡电阻与输送功率的影响, 单相故障时非故障相选相元件可能误动。81 年 7 月 9 日华东电网某 66.6 公里 220 千伏线路因雷击 C 相瓷瓶闪络导致单相接地故障, 但受电侧 B 相偏移特性方向阻抗选相元件误动作。为分析误动原因, 进行了容许过渡电阻的动作特性计算, 其结果绘于图—7。从图可见, 近处故障时, 领前相选相元件可能误动, 但当时的故障点距受电侧 9.7 公里 ( $K = 0.146$ ), 根据计算不致误动, 需进一步查核计算原始数据或从其他方面查找原因。

### 3 各种接地距离继电器的动作特性比较

鉴于相——地接线的阻抗继电器受过渡电阻影响较大, 近年来提出了多种多相补偿接地距离继电器, 如:

- ① 三相补偿电压与零序电流综合比相的晶体管多相补偿接地距离继电器。
- ② 各相补偿电压分别与零序电流比相构成电抗继电器, 三相电抗继电器串联动作构成整流型多相补偿接地距离继电器。
- ③ 增大比相动作角度的改进整流型多相补偿接地距离继电器。

曾用所述程序对这些继电器在不同网络参数情况下容许过渡电阻的特性进行过计算, 作了分析比较, 举例如下:

(1) 方向阻抗继电器、记忆方向阻抗继电器与晶体管多相补偿接地距离继电器在单相接地故障时容许过渡电阻的特性比较示于图—8。

(2) 晶体管多相补偿接地距离继电器与整流型继电器在单相接地故障时容许过渡电阻特性的比较见图—9。图中改进整流型继电器的比相动作角度增大了  $15^\circ$ 。

(3) 晶体管与整流型多相补偿接地距离继电器受系统振荡影响的计算结果示于图—10。

(4) 多相补偿接地距离继电器与方向阻抗继电器都存在反方向故障可能失去方向性的问题, 前者的计算结果示于图—11。从图可见, 仅在整定值甚小时才有可能误动。

## 六、计算结果的校核

按  $90^\circ$  比相原理构成的阻抗继电器, 其动作特性在理论上是一个圆, 但由于对侧电源与非故障相电流的助增等影响, 实际上其在阻抗平面上的特性并非圆, (见图—8)。既然按其动作原理是比较接入继电器的电气量之间的相位, 则在动作边缘时, 继电器的感受阻抗应在特性圆上。根据所述程序计算所得的动作边界而计算得出的继电器感受阻抗, 经校核均在动作特性圆的边缘。因此, 证实了计算结果并无错误。

计算程序的正确性最好能通过动态模拟或静态模拟进行考核。据告, 南京自动化研究所对 JJ—500 型 500 千伏线路后备距离保护装置中多相补偿接地距离的动模试验结果能

与计算结果相符合。拟争取机会用动模试验的准确参数与结果进行计算以作校核。

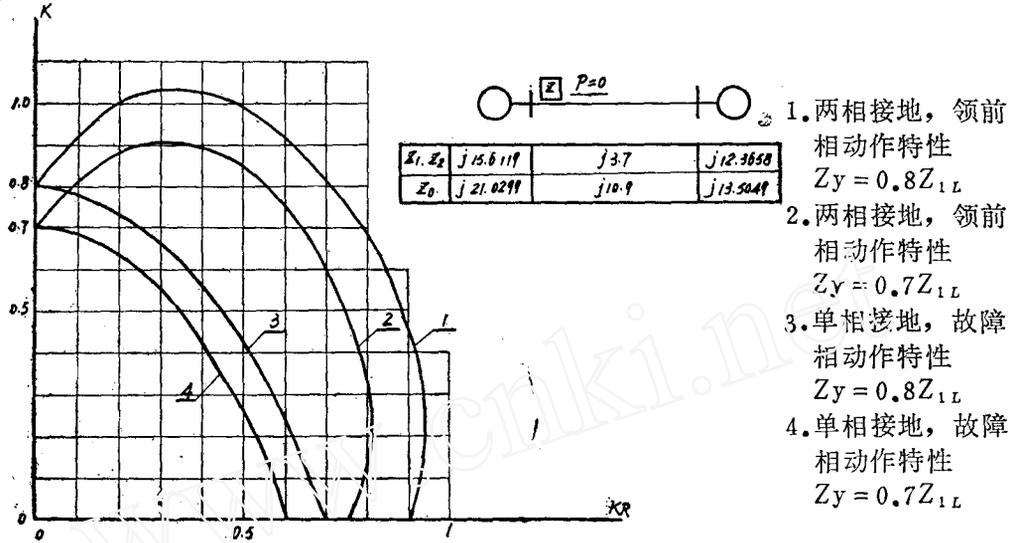


图6 相—地接线全阻抗继电器动作特性

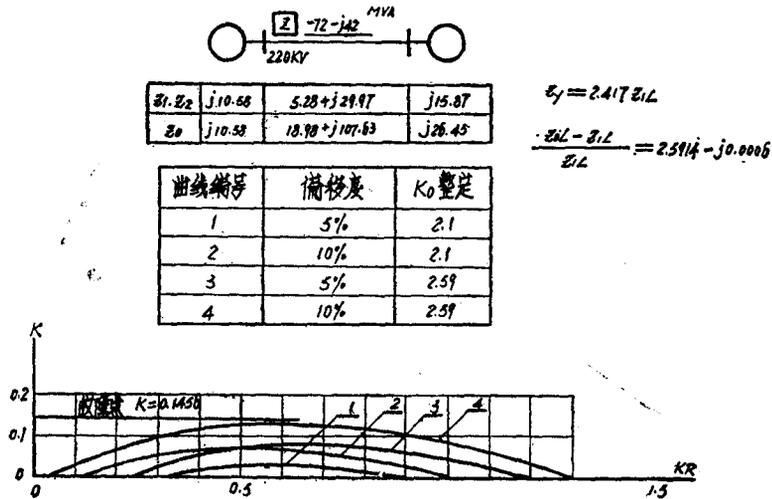


图7 单相接地故障, 领前相偏移方向阻抗选相元件动作特性

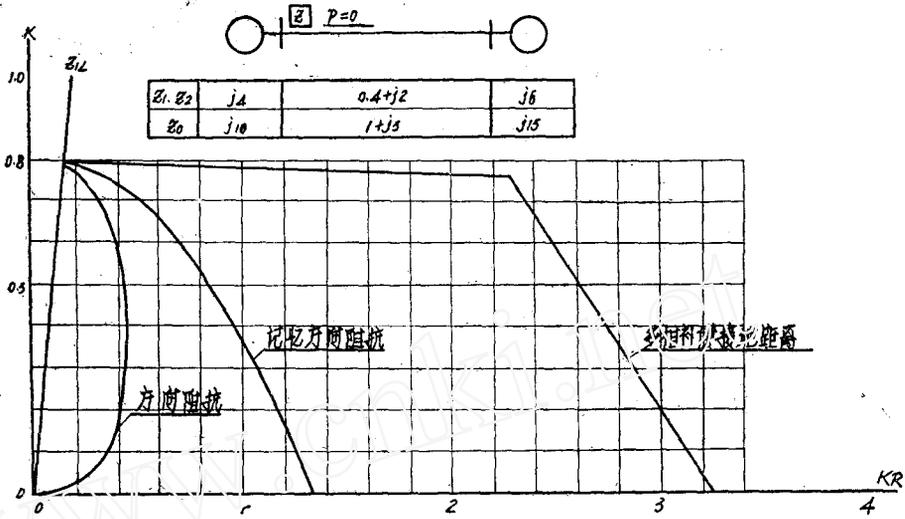
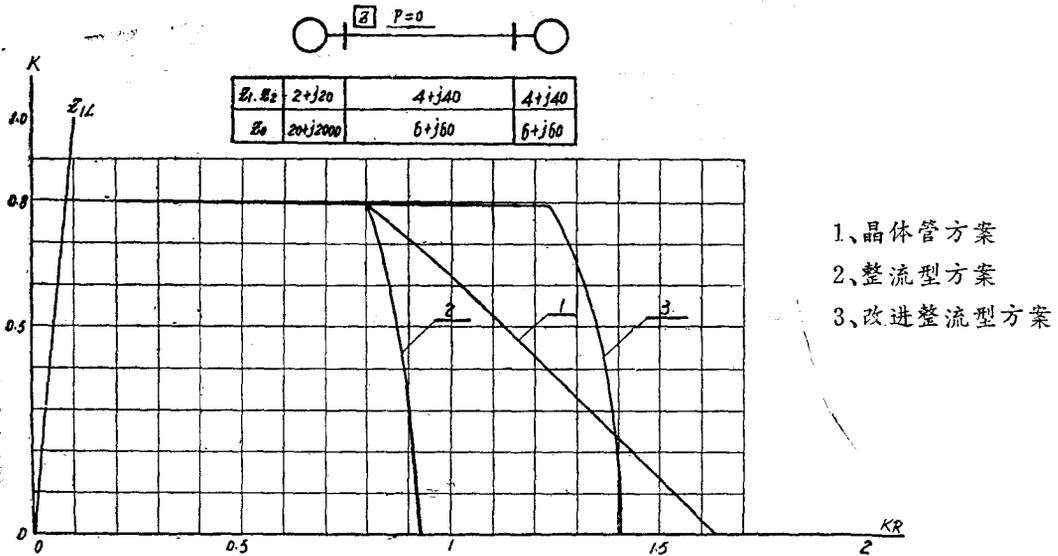


图8 各种接地距离继电器动作特性比较(单相接地)



- 1、晶体管方案
- 2、整流型方案
- 3、改进整流型方案

图9 各种接地距离继电器动作特性比较(单相接地)

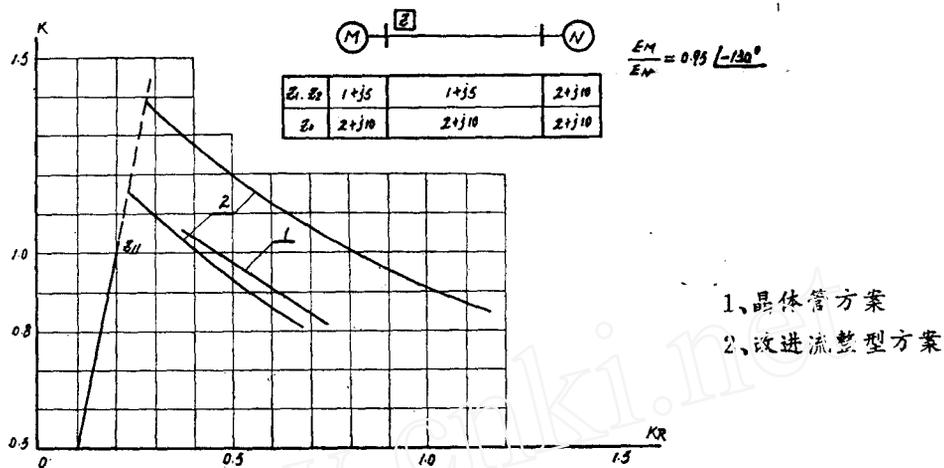


图10 接地距离继电器受振荡影响动作特性(单相接地)

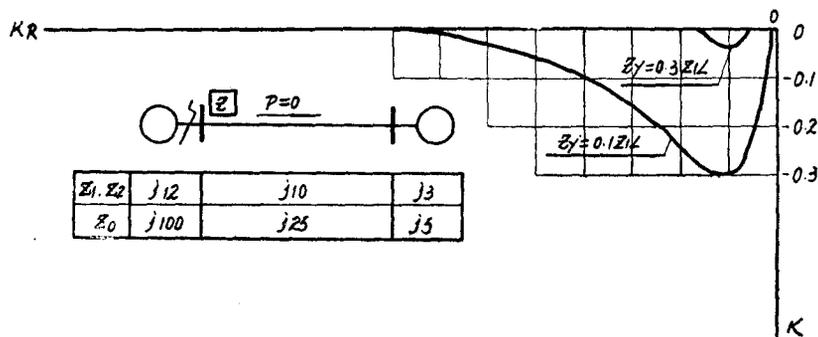


图11 晶体管多相补偿接地距离继电器反方向两相接地故障动作特性