

用微机进行阻抗继电器动作行为分析的方法研究

山东工业大学 孙茂林

近年来国内外的继电保护工作者用计算机进行阻抗继电器动作行为的分析,取得了一定成绩,是很有意义的,计算机节省了大量手算时间,在一定程度上解放了生产力。但所用方法局限于小步长循环的描点法,这种方法上机时间长,作图多用手工完成,动作界点求得不够精确,本文提出一种用微机进行阻抗继电器动作行为分析的方法,这个方法从继电器的特点出发,不用作图,用微机自动完成计算与判断,用大步长寻找动作区,再用黄金分割逼近法快速精确地寻找动作界点,并直接打印出结果。

一、用微机的必要性

进行阻抗继电器动作行为分析,就要计算阻抗继电器的测量阻抗,在阻抗继电器用作保护测量元件时,就要分析在可能的运行方式下,保护的動作行为,有时还需考虑过渡电阻的影响,即要计算在可能的电势角 δ 范围内,经不同的过渡电阻 R_g 短路,在各种短路形式($K^{(3)}$, $K^{(2)}$, $K^{(1,1)}$)下,正方向及反方向的测量阻抗。

在阻抗继电器用作选相元件时,就要分析非故障相选相元件在重合闸周期内是否会误动,若误动,误动范围有多大,这就要计算下列情况下的测量阻抗:非全相振荡时,线路出口故障两侧均未跳开 δ 摆开时;线路中点故障两侧均未跳开 δ 摆开时;线路末端故障两侧均未跳开 δ 摆开时;线路出口故障对侧先跳本侧尚未跳开 δ 摆开时;线路中点故障对侧先跳本侧尚未跳开 δ 摆开时;线路末端故障对侧先跳本侧尚未跳开 δ 摆开时等等。有时还需考虑过渡电阻 R_g 的影响,还需计算在 R_g 变化时上述 p 分故障情况下的测量阻抗。

由于阻抗继电器测量阻抗的计算公式一般是带两个参变量 δ 及 R_g 的,公式比较复杂,计算情况又比较多,在每种情况下都要计算对应不同 δ 及 R_g 的测量阻抗,然后以 δ (或 R_g)为参变量,求出对应不同 R_g 的测量阻抗。为了精确, R_g 的增量很小,描出各点,连成曲线作出测量阻抗轨迹,即小步长循环描点法。在同一阻抗复平面上作出阻抗园,再判断测量阻抗的轨迹是否进园,若进园求出动作界点。在 δ 的可能范围内,改变 δ 的值重复上述工作。

由上分析可见:不论分析用作保护测量元件的阻抗继电器的动作行为,还是分析用作重合闸选相元件的阻抗继电器的动作行为,工作量是相当大的,是相当复杂和费时的工作,因而有必要用微机自动完成上述工作。

二、阻抗继电器动作判据

人们关心的不是测量阻抗轨迹,而是在每一种计算情况下(如相间距离保护在正方向三相短路时)在什么 δ 什么 R_g 时阻抗继电器动作,若动作,则动作界点是何值。还希望省去作图,由微机自动完成计算与判断,直接打印动作界点及几个动作点。这需要解决两个问题:一阻抗继电器动作判据;二如何快速精确地求出动作界点。

在每一种计算情况下,都可推出测量阻抗 Z_J 的表达式,如对应图1系统的正方向三相经过渡电阻短路的测量阻抗 Z_J 为:

$$Z_J = XZ_L + \frac{E_2}{E_1} (Z_{S1} + XZ_L) + (1-X)Z_L + Z_{S2} \dots\dots (1)$$

$$(1-X)Z_L + Z_{S2} + R_g \left(1 - \frac{E_2}{E_1}\right)$$

式中 XZ_L 为保护安装处到短路点的线路阻抗

Z_{S1} 为本侧的系统阻抗

Z_{S2} 为对侧的系统阻抗

R_g 为过渡电阻

E_1 为本侧电源电势

E_2 为对侧电源电势

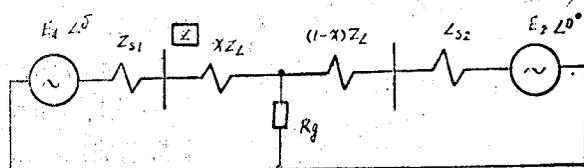


图1 正方向三相经过渡电阻短路系统单相等效图

测量阻抗 Z_J 为一复量, Z_J 为短路点位置,电势角 δ 及过渡电阻 R_g 的函数,在设定上述参数后,可用微机算出测量阻抗 Z_J 的实部 Z_{JRe} 及虚部 Z_{JIm} ,从而可计算出测量阻抗的阻抗值 Z_{JA} 及阻抗角 θ :

$$Z_{JA} = \sqrt{Z_{JRe}^2 + Z_{JIm}^2} \dots\dots (2)$$

$$\theta = \arctg \frac{Z_{JIm}}{Z_{JRe}} \dots\dots (3)$$

将测量阻抗 Z_J 及阻抗继电器的动作圆都画在阻抗复平面上如图2所示,图中 Z_{Set} 为整定阻抗, φ 为整定阻抗角。

$$\text{令 } Z_{P1} = Z_{Set} - Z_{JA} \dots\dots (4)$$

式中 Z_{Set} 为整定阻抗的数值

判据1: $Z_{P1} > 0$ 为阻抗继电器动作的必要条件。 $Z_{P1} < 0$ 阻抗继电器不动。

$$\text{令 } Z_{P2} = Z_{Set} - \frac{Z_{JA}}{\cos(\varphi - \theta)} \dots\dots (5)$$

判据2: $Z_{P2} > 0$ 为阻抗继电器动作的必要且充分条件。

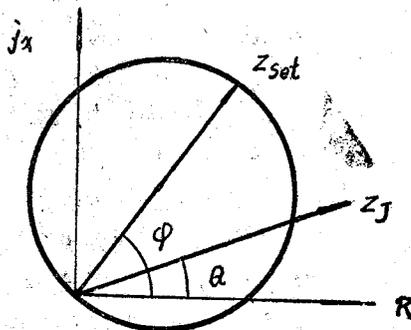


图2 阻抗动作圆及测量阻抗 Z_J

为加快寻找动作区,在程序中可先计算测量阻抗幅值 Z_{JA} ,判断 $Z_{P1} < 0$ 否?若 $Z_{P1} < 0$ 可不计算 φ ,不计算 Z_{P2} ,立即换一点(如 δ 作参变量时, δ 固定 R_g 加一增量

ΔR_g) 计算, 在分析中由于不动点很多故可以节省很多时间。只在 $Z_{P1} < 0$ 时, 才计算 Q , 计算 Z_{P2} , 判断 $Z_{P2} > 0$ 否? 若 $Z_{P2} < 0$ 换一点重新计算, 若 $Z_{P2} > 0$ 该点即在动作区内, 可转入求动作界点子程序。寻找动作区的程序框图如图 3 所示。

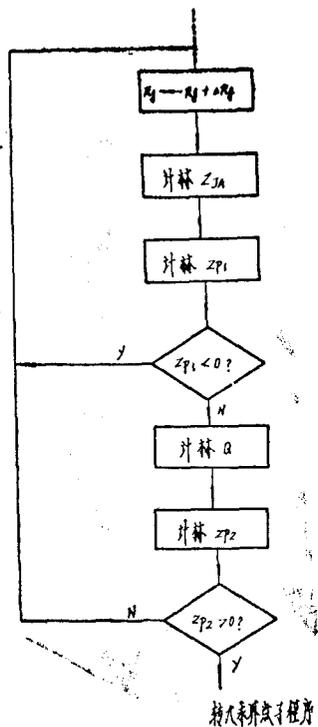


图 3 求动作区子程序框图

三、如何快速精确地求动作界点

找到动作点就可判定在该 δ 及该 R_g 的条件下阻抗继电器动作, 就要求在 δ 为何值, R_g 为何值时阻抗继电器临界动作, 即需求动作界点。

由于测量阻抗 Z_1 为 δ 及 R_g 的连续函数, 故可判定动作界点必在动作点与不动点之间。求动作界点有两种方法: 一为小步长循环逐步逼近法; 二为大步长求异号点的黄金分割逼近法。在同样精度的条件下, 第二种方法比第一种方法一般约快几十倍。

在不考虑分布电容没有串补电容的条件下, δ 恒定 R_g 变化时 Z_1 的轨迹及 R_g 恒定 δ 变化时 Z_1 的轨迹, 都为非振荡曲线, 故可应用第二种方法快速精确地求动作界点。

这种方法求界点分两步:

第一步 求 Z_{P2} 的异号点;

动作点的特征为 $Z_{P2} > 0$, 不动点的特征为 $Z_{P2} < 0$, 界点的特征为 $Z_{P2} = 0$ 。故两点间存在界点的条件是该两点为 Z_{P2} 的异号点。两点为 Z_{P2} 异号点的判据为:

$$Z_{P2}(K) \cdot Z_{P2}(K+1) < 0 \quad \dots\dots (6)$$

式中 $Z_{P2}(K)$ 为第 K 次 Z_{P2} 的计算值

$Z_{P2}(K+1)$ 为第 $K+1$ 次 Z_{P2} 的计算值

若前次计算为不动点, 本次计算为动作点, 这两点即为异号点。

若前几次计算为动作点, 本次计算也为动作点, 则仍以较大步长 (如 δ 恒定时以较大的 ΔR_g) 寻找不动点。

第二步 黄金分割逼近界点。

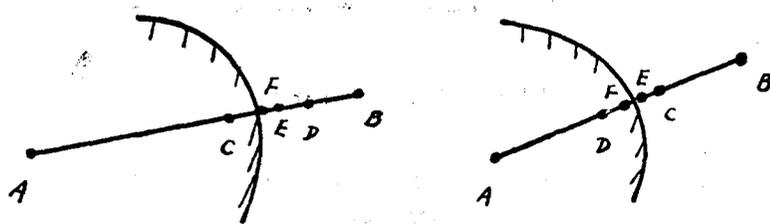
求得异号点后, 以两异号点为基点, 在两基点间插入一点作为计算点, 如 δ 恒定时以 $R_{g1} = R_g \pm 0.618\Delta R_g$ 点为计算点, R_g 为两基点中动作点的过渡电阻, ΔR_g 为两基点间过渡电阻之差, “+” 用于动作点过渡电阻较小不动点过渡电阻较大的情况,

“-” 号用于动作点过渡电阻较大不动点过渡电阻较小的情况。算出计算点的 Z_{P2} , 判断该计算点是在动作区内还是在动作区外。

若计算点在动作区内, 如图 4A, 则以 C 代过渡电阻较小的动作区内的 A 点, 则新的基点为 C 与 B, 在 C 与 B 间再插入一点 D 作为计算点, D 点的 $R_{g1} = R_{gc} + 0.618\Delta R_{gBC}$,

再判断D点是在区内还是在区外，依此类推，可得到逐步逼近界点的E、F……。

若计算点C在动作区外，如图4B，则以C代过渡电阻较大的动作区外的B点，则新基点为A与C，在其间插入一点D，D点的 $R_{g1} = R_{gA} + 0.618\Delta R_{gAC}$ ，同样可得到逐步逼近点E、F……。



A 以C代A 图4 黄金分割逼近界点示意图 B 以C代B

这种方法逼近界点的速度是相当快的。如要求精度为 10^{-4} ，只需十几次循环即可求得结果。它的子程序如图5所示。

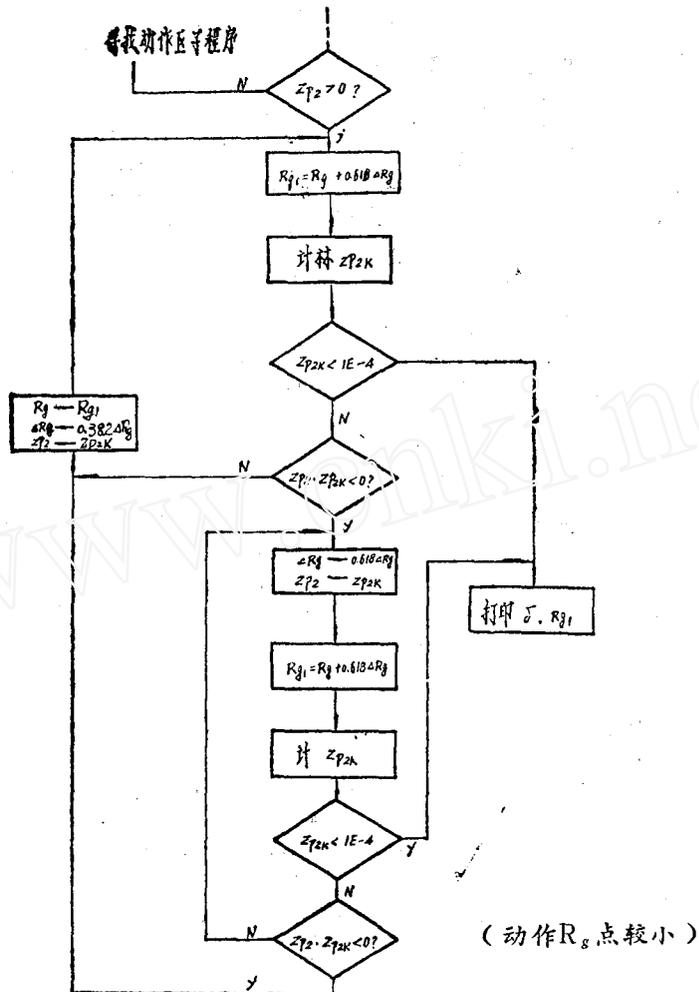


图5 求界点子程序框图