

# 利用微机故障录波数据进行准确的高阻接地故障定位

华北电力学院 王绪昭 英国C·S·D公司 P·E·GALE

## 摘要

本文针对国内生产的WXH型线路保护在高阻接地短路时可能出现较大误差的问题提出了两种事后修正算法,以取得较准确的故障定位。两种算法不需对现有装置的软硬件作任何改动,且应用简单,精确度高。对于任何不配有测距软件的数字式故障录波仪,应用这些方法,都可以很简单地获得测距功能。

## 一 前 言

我国生产的WXH型线路保护装置和正在欧洲及东南亚一带运行中的英国CSD公司生产的微机故障录波测距仪,在系统发生高阻接地短路时,用下面的公式计算故障距离。

$$u_p = L_1 l_f d(i_p + k_L 3i_0) / dt + R_f' 3i_0 \quad (1)$$

$u_p$ : 装置安装处故障相电压

$i_p$ : 装置安装处故障相电流

$3i_0$ : 装置安装处零序电流

$k_L = (L_0 - L_1) / L_1$

$L_1, L_0$ : 单位距离正序、零序电感

$l_f$ : 故障距离

式(1)中的微分方程虽然忽略了线路电阻上的压降,但只要 $3i_0$ 与接地故障支路的 $3i_{0F}$ 同相位(见图1),测距结果仍然是很准确的。但一般说来 $i_0$ 与 $i_{0F}$ 之间是有相

## 参考文献

1. 软科学研究《中国科技论坛》专刊, 1986. 2.
2. 试论加强机械工业技术发展技术经济研究工作 机械科学研究院系统分析研究中心 杜祥瑞 黄雷鸣 机械工业技术政策研究通讯(总89期)1987. 1.
3. 电工产品振兴目标研究报告 《机械工业二〇〇〇年产品振兴目标研究》电工分册课题组 1987. 12.
4. 《机械工业二〇〇〇年产品振兴目标研究》子项其一—4—1—2(23) 触电保护装置产品水平评价分析 许昌继电器研究所 方文楷 朱景云 郭冬生 王凤朴 陆振华 1986. 12.

位差的，尤其是当线路末端故障，对侧系统的注增又很强烈时，测距将出现很大误差。作为距离保护，可以选用合理的动作边界防止超越。但作为故障测距，误差较大的结果往往是不能令人满意的。

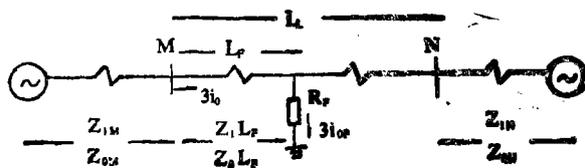


图1 高阻接地短路系统图

- $Z_{1M}$ : M侧电源正序阻抗
- $Z_{0M}$ : M侧电源零序阻抗
- $Z_{1N}$ : N侧电源正序阻抗
- $Z_{0N}$ : N侧电源零序阻抗
- $Z_1$ : 每公里正序阻抗
- $Z_0$ : 每公里零序阻抗
- $L_F$ : 故障距离
- $L_L$ : 线路全长

文献(1)提出了一种如何利用测量电阻分量实现高阻接地短路的测距方法，结果具有较高精度。实现这种方法要在现有装置中增加部分软件。CSD公司已对新产品作了这方面的改进。但许多用户提出，如何使正在运行中的装置在这方面的功能也有所提高。本文所提出的两种算法，正是针对不需对现有装置作任何改动的情况下，利用故障后的记录数据，对高阻接地短路进行准确定位。算法A适用于线路一侧装有测距装置，算法B适用于线路两侧装有此类装置。

## 二 测距基本原理

WXH线路保护和CSD测距仪在每次故障起动后，都保留并打印5个工频周波的采样数据，其中包括故障前一个周波和故障后四个周波。数据采样率为1000Hz，输出形式如下。

ms	$U_1$	$U_2$	$U_0$	$i_1$	$i_2$	$i_0$	$3U_0$	$3i_0$	$U_L$	5V
-20	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
-1	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
0	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
1	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
79	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

以上输出的是瞬时值的离散形式。而本文所提算法是利用故障后零序电流及正序电流的幅值和相位进行的，所以首先要对有关数据进行修整。

众所周知,任一正弦量(以电流为例)都可以表示成如下形式。

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi) = I_c \sin \omega t + I_s \cos \omega t \quad (2)$$

由付立叶分析得知,该电流的余弦及正弦分量可由下两式解出。

$$I_c = \frac{2}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} i(t) \sin \omega t dt \quad (3)$$

$$I_s = \frac{2}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} i(t) \cos \omega t dt \quad (4)$$

由  $I_c$ 、 $I_s$  可得该电流的幅值和相位。

$$I_m = \sqrt{I_c^2 + I_s^2} \quad (5)$$

$$\varphi = \text{tg}^{-1}(I_s / I_c) \quad (6)$$

式(3)、(4)的离散表达形式为:

$$I_c = \frac{2}{N} \sum_{l=1}^{N-1} i(k-N+l) \sin\left(\frac{2\pi}{N} l\right) \quad (7)$$

$$I_s = \frac{1}{N} (i(k-N) + i(k)) + \frac{2}{N} \sum_{l=1}^{N-1} i(k-N+l) \cos\left(\frac{2\pi}{N} l\right) \quad (8)$$

以上就是大家很熟悉的付氏算法。 $k$ 为当前采样个数, $N$ 为每工频周期的采样个数。本文算法中 $N$ 取作10,这是为了对应1000Hz的采样频率而设定的。付氏算法的主要不足是对直流衰减分量和非整周次谐波的滤波效果欠佳。但此处是对高阻接地进行事后测距,所以本文算法避开故障后第一周数据,从第二周开始每隔2ms连续取10个样值,对某一待求量进行滤波修整,解出幅值和相位。在高阻接地情况下,只存在于暂态过程中的非整周谐波和衰减直流分量在故障一周后已影响甚微。而利用付氏算法此时可以将某些固有整周次谐波(尤其是零序回路中)滤掉。

#### 算法 A

从装置保存的样值中很容易得到正序及负序故障分量。

$$i_{1+2}(k) = i_1(k) - i_0(k) - i_2(k-40) \quad (9)$$

以及  $3i_0$ 。经付氏滤波后,分别解出其幅值和相位  $I_{1+2}$ 、 $\varphi_{1+2}$ 、 $3I_0$  及  $\varphi_0$ 。

若认为线路正、负序参数相等,根据图1可知(M侧为例):

$$\dot{I}_{1+2} = 2 \dot{K}_{1M} \dot{I}_{0,F} \quad (10)$$

$$3 \dot{I}_0 = 3 \dot{K}_{0M} \dot{I}_{0,F} \quad (11)$$

从上两式解出:

$$\dot{K} = \frac{3 \dot{I}_0}{\dot{I}_{1+2}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{\dot{K}_{0M}}{\dot{K}_{1M}} = K / \varphi_K \quad (12)$$

其中:

$$\dot{K}_{0M} = \frac{Z_0 L_L + Z_{0N} - Z_0 L_F}{Z_{0M} + Z_{0N} + Z_0 L_L} \quad (13)$$

$$\dot{K}_{1M} = \frac{Z_1 L_L + Z_{1N} - Z_1 L_F}{Z_{1M} + Z_{1N} + Z_1 L_L} \quad (14)$$

从式(12)~(14)中,不难解出故障距离 $L_F$ 。

$$L_F = \frac{\dot{A} \cdot \dot{B} - \dot{C} \cdot \dot{K}}{\dot{A} \cdot Z_0 - Z_1 \cdot \dot{K}} \quad (15)$$

其中,

$$A = \frac{3}{2} \cdot \frac{Z_{1M} + Z_{1N} + Z_1 L_L}{Z_{0M} + Z_{0N} + Z_0 L_L}$$

$$B = Z_{0N} + Z_0 L_L$$

$$C = Z_{1N} + Z_1 L_L$$

显然,在求解 $L_F$ 的过程中,不存在故障电阻的影响,只要两侧系统参数已知,是可以准确求得故障距离的。

实际应用中,用户可根据以上算式事先编制一简单高级语言程序,存放于任一通用微机(如IBM-PC)中,故障过后,立即询问有关电力部门两侧电源的运行情况,然后将所需采样值输入该程序,启动测距计算。

### 算 法 B

算法B适用于线路两端均装有测距装置。在这种情况下,不需事后查询系统运行情况,依据两侧录波样值,便可准确进行故障定位。

本算法首先要对各侧 $3U_0$ 和 $3i_0$ 进行付氏滤波修整,分别解出其复数量。然后根据式(16)(17)求得两侧系统零序参数(M侧为例)。

$$R_{0M} = \frac{U_{0c} \cdot I_{0c} - U_{0e} \cdot I_{0e}}{I_{0c}^2 + I_{0e}^2} \quad (16)$$

$$X_{0M} = \frac{U_{0c} \cdot I_{0e} + U_{0e} \cdot I_{0c}}{I_{0c}^2 + I_{0e}^2} \quad (17)$$

将经过付氏运算后的M侧零序电流幅值除以N侧零序电流幅值,获得下式。

$$K = \frac{3I_{0M}}{3I_{0N}} = \frac{\dot{K}_{0M}}{\dot{K}_{0N}} = \frac{Z_0 L_L + Z_{0N} - Z_0 L_F}{Z_{0M} + Z_0 L_F} \quad (18)$$

$$L_F = \frac{Z_0 L_L + Z_{0N} - K Z_{0M}}{(1 + K) Z_0} \quad (19)$$

$L_F$ 是故障点至M侧的距离。同理也可求得至N侧的距离。值得注意的是,K是两侧零序电流幅值之比。这是因为两侧装置的采样系统没有同步联系,所谓相位关系是没有实际意义的。实际上 $\dot{K}_{0M}$ 及 $\dot{K}_{0N}$ 的相角是很小的,不会给测距带明显误差。另一个值得注意的是,算法B只有故障发生在两侧测距装置安装点之间的线路上时才成立。若某一侧装置背后发生接地短路,式(18)的K恒等于1,算法失去意义。

算法B同样需要事先将高级语言编制的程序存放于通用微机中,故障后收取两侧零序电压及电流的样值,运算求解。英国CSD公司已将测距仪通过通讯接口与电业管理部门的微机网络连接,可以在故障后很方便地读取各侧有用信息,进行准确故障定位。

### 三 仿真试验

两种算法都利用EMTP程序(文献2)进行了数字仿真验证。经过各种系统参数的校验,结果基本一致。表1列出一组测距结果。系统模型是英国某400kV, 100kM单回线路,故障电阻为100Ω。为了参照对比,式(1)的计算结果也列于表中。

表1 400kV、100kM单回线路测距结果  $R_F = 100\Omega$

$L_F/L_L$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
式小算法	0.193	0.352	0.736	0.867	-2.06
算法A	0.194	0.393	0.611	0.819	0.998
算法B	0.205	0.406	0.594	0.794	0.996

算法A、B同样适用于具有零序互感耦合的平行双回线路。但需将式(13)(14)的零序正序分布系数改写为式(20)(21)形式(以M侧为例)。表2列出一组双回线高阻接地的测距结果。

$$K_{0M} = \frac{(1-P)(Z_0L_L + Z_ML_L + Z_{0K} + Z_{0N}) + Z_{0N}}{2(Z_{0M} + Z_{0N}) + Z_0L_L + Z_ML_L} \quad (20)$$

$$K_{1M} = \frac{(1-P)(Z_1L_L + Z_{1M} + Z_{1N}) + Z_{1N}}{2(Z_{1M} + Z_{1N}) + Z_1L_L} \quad (21)$$

其中:  $P = \frac{L_F}{L_L}$

表2 400kV、100kM双回线路测距结果  $R_F = 100\Omega$

$L_F/L_L$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
算法A	0.194	0.398	0.60	0.799	0.965
算法B	0.20	0.401	0.599	0.799	0.991

当然,数字仿真忽略了CT、PT等测量设备以及系统参数不完全精确诸因素的影响,但通过与现存算法(式小)的比较,仍可以看出结果是令人满意的。测距较准确的主要原因是两种算法都利用了电流分布系数之间的关系,而电流分布系数与故障电阻的大小及变化无关。

### 四 结 论

本文的算法是针对WXH线路保护和CSD测距仪在线路发生高阻接地短路时,测距结果可能出现较明显误差的情况下,提出的一种事后修整法。两种方法都不需对现有装

# 相灵敏接线方向阻抗元件的计算机仿真分析

重庆大学 王晓茹 米麟书

## 摘要

本文对一实际的LZ—21型方向阻抗元件的动态特性进行了计算机仿真研究, 所得结果经试验和理论分析验证是正确的。仿真计算表明, 含滤波器的相敏比较电路, 因受滤波器暂态特性的影响, 输出电压发生了变化, 导致方向阻抗继电器的动作特性变化。

## 一 引 言

由于相灵敏比较电路具有较高的灵敏度, 所以无论是在整流型还是晶体管式的方向阻抗继电器中, 都获得了较为广泛地应用。

一般相灵敏接线方向阻抗继电器的执行回路如图1(a)所示, 其中 $\dot{U}_x$ 、 $\dot{U}_y$ 、 $\dot{U}_z$ 分别是补偿电压、测量电压和极化电压。图1(b)是(a)的等效电路, 其中:

$$R_1 = R_2; \quad \dot{E}_1 = -\dot{U}_x + \dot{U}_y - \dot{U}_z, \quad \dot{E}_2 = -\dot{U}_x + \dot{U}_y + \dot{U}_z,$$

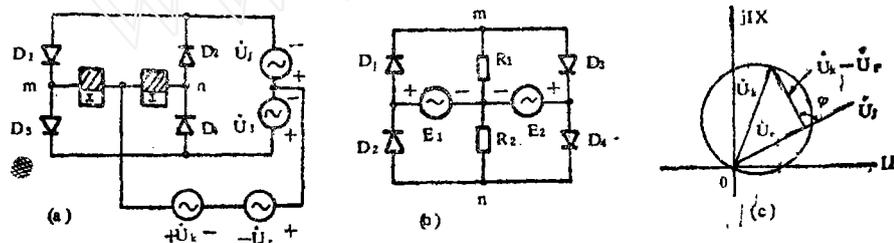


图1 由不含滤波器的相敏电路构成的方向阻抗继电器及其动作特性

置作任何改动, 简单易行, 精确度高。用户可很方便地利用身边的通用微机编制一短小程序, 在故障后很快算得准确故障地点, 进行及时的检修恢复。

实际上, 把本文的方法稍加扩充就可应用于任何一台不配有测距软件的微机故障录波仪, 作为事后故障定位用。使应用这类装置的用户, 可以在不增加任何投资的情况下, 取得良好的测距结果。

## 参考文献

1. “利用测量电阻分量实现高阻接地短路的准确测距法” 王绪昭等 《继电器》1988年8期
2. “Transients Program User's Manual” H·W·Dommel The University of British Columbia, Copyright 1976, Latest Revision Aug. 1, 1978.