

小电流接地系统两点异相故障测距

邱建国 广东省电力中心调度所 (510600)

钟岷秀 重庆大学电机工程系 (400020)

【摘要】 分析了小电流接地系统中一些典型工况的两点异相接地故障的特点,并运用对称分量原理提出了相应的故障测距算法。这些算法均不受负荷电流、接地故障电阻和消弧线圈(或电阻)的影响,大量的数字仿真计算表明:该故障测距算法是可行的。

【关键词】 小电流接地系统 故障测距 算法 两点异相接地故障

1 前言

我国 60kV 以下电力系统通常采用中性点不接地或经消弧线圈(或电阻)接地方式,在某些地区 110kV 的线路也采用经消弧线圈(或电阻)的接地方式。小电流接地系统单相接地故障时,因故障电流不大,特别是经消弧线圈(或电阻)补偿后,三个线电压仍然对称,所以允许继续运行 1~2h。在单相接地故障后,如又发生另一点异相接地故障,就构成了两点异相接地故障。在多雨、潮湿的地区或季节,这种故障也是时有发生。

目前,已有不少种小电流接地系统单相接地故障自动选线保护投入了使用^[3],它们可同时选出一条或两条接地故障线,但由于此时尚未形成故障电流通路,它的故障定位十分困难。当小电流接地系统发生不同地点异相单相接地故障时,在该两点之间便形成了故障电流通路。从理论上讲其故障定位应是可行的,但迄今仍无文献涉及,这正是本文探讨的内容。

由于小电流接地系统基本上为开环运行,所以其接线方式具有一定的规律性。本文归纳、总结出了几种典型的接线方式(模型),对其两点异相接地故障进行了分析,并提出了相应的故障测距公式。

2 模型一

模型一为一个单回线模型,假定 M, N 侧中性点均经消弧线圈(或电阻)接地,消弧线圈(或电阻)阻抗分别为 Z_{L1}, Z_{L2} ,在线路 MN 上的 F, D 点分别发生了 B, C 相单相接地故障,接地电阻分别为 R_1, R_2 。假定正、负序故障网络参数相同。

2.1 工况一,考虑 M 点的测距,运用迭代原理及对称分量法,可将其分解为故障前状态(正序稳态)和故障(正序故障、负序、零序)状态之和,其系统和序网图分别如下所示:

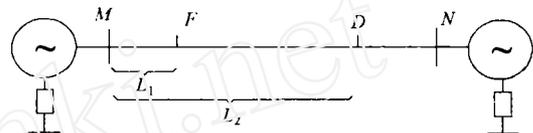
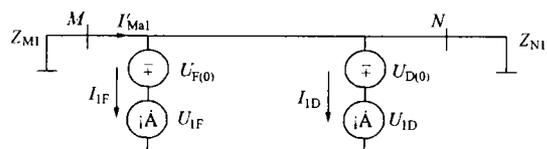


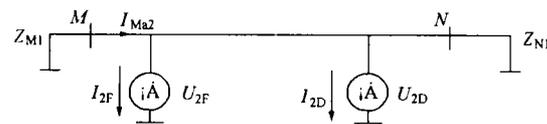
图1 工况一系统接线图



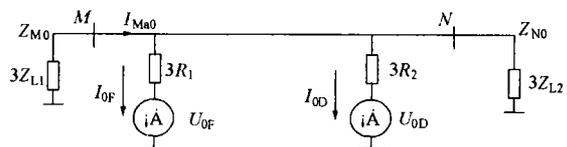
(a) 正序稳态



(b) 正序(故障)



(c) 负序



(d) 零序

图2 工况一的序网络图

F 点 B 相接地,接地处 $U_B = 0$,以 A 相为参考相的边界条件为:

$$F \text{ 点: } \begin{cases} a^2 U_{1F} + a U_{2F} + U_{0F} = 0 & (1) \\ a^2 I_{1F} = a I_{2F} = I_{0F} & (2) \end{cases}$$

D 点 C 相接地,同理可得:

$$D \text{ 点: } \begin{cases} a U_{1D} + a^2 U_{2D} + U_{0D} = 0 & (3) \\ a I_{1D} = a^2 I_{2D} = I_{0D} & (4) \end{cases}$$

式中 $U_{IF}, U_{2F}, U_{0F}, U_{1D}, U_{2D}, U_{0D}$ 为 F, D 点接地处正、负、零序电压;

$I_{1F}, I_{2F}, I_{0F}, I_{1D}, I_{2D}, I_{0D}$, 为 F, D 点接地支路序电流。

假定: (I_{Ma1}' 、 I_{Ma2} 分别为 M 侧正序、负序故障电流)

$$I_{Ma1}' = I_{1F}D_{1F} + I_{1D}D_{1D} \quad (5)$$

$$I_{Ma2} = I_{2F}D_{1F} + I_{2D}D_{1D} \quad (6)$$

将式(2)及式(4)代入式(5)、式(6)得:

$$I_{0F} = \frac{aI_{Ma1}' - a^2I_{Ma2}}{(a^2 - a)D_{1F}} \quad (7)$$

$$I_{0D} = \frac{a^2I_{Ma1}' - aI_{Ma2}}{(a - a^2)D_{1D}} \quad (8)$$

式中 D_{1F}, D_{1D} , 分别为 F, D 两点的正(负)序故障电流分支系数, 由推导知:

$$D_{1F} = \frac{(L_{MN} - L_1)Z_1 + Z_{N1}}{Z_{M1} + L_{MN}Z_1 + Z_{N1}} \quad (9)$$

$$D_{1D} = \frac{(L_{MN} - L_2)Z_1 + Z_{N1}}{Z_{M1} + L_{MN}Z_1 + Z_{N1}} \quad (10)$$

由序网分析知:

$$U_{Mb} = L_1Z_1(I_{Mb} + 3KI_{Ma0}) + 3R_1I_{0F} \quad (11)$$

$$U_{Mc} = L_1Z_1(I_{Mc} + 3KI_{Ma0}) + (L_2 - L_1)Z_1$$

$$[I_{Mc} + 3K(I_{Ma0} - I_{0F})] + 3R_2I_{0D} = L_2Z_1(I_{Mc} + 3KI_{Ma0}) - (L_2 - L_1)Z_13KI_{0F} + 3R_2I_{0D} \quad (12)$$

式中, I_{Mb}, I_{Mc} 分别为 M 侧 MN 线 b, c 相电流。 Z_1 为 M, N 线单位正序阻抗, I_{Ma0} 为 M 侧 MN 线的零序电流。

将式(7)、(8)分别代入式(11)、(12), 并在两边取虚部(I_M 表示取虚部), 则得所需的测距公式:

$$I_M \left| \frac{[U_{Mb} - L_1Z_1(I_{Mb} + 3KI_{Ma0})](a^2 - a)D_{1F}}{aI_{Ma1}' - a^2I_{Ma2}} \right| = 0 \quad (13)$$

$$I_M \left| \frac{[U_{Mc} - L_2Z_1(I_{Mc} + 3KI_{Ma0}) + (L_2 - L_1)Z_13KI_{0F}](a - a^2)D_{1D}}{a^2I_{Ma1}' - aI_{Ma2}} \right| = 0 \quad (14)$$

式(13)为 L_1 的一元二次方程, 求得 L_1 后代入式(14)则式(14)为 L_2 的一元二次方程取 $0 < L_1 < L_{MN}, 0 < L_2 < L_{MN}$ 的根, 对于不同的负荷($E_N = E_M, E_N = E_{Me}^{j30^\circ}, E_N = E_{Me}^{-j30^\circ}$ 不同的过渡电阻 ($10\Omega, 50\Omega, 100\Omega, 200\Omega$) 作了大量的仿真测距, 误差小于 $\pm 1\%$ 。因实际系统中 D_{1F}, D_{1D} 接近于实数, 略去 D_{1F}, D_{1D} 可得下述测距公式:

$$I_M \left| \frac{[U_{Mb} - L_1Z_1(I_{Mb} + 3KI_{Ma0})](a^2 - a)}{aI_{Ma1}' - a^2I_{Ma2}} \right| = 0 \quad (15)$$

$$I_M \left| \frac{[U_{Mc} - L_2Z_1(I_{Mc} + 3KI_{Ma0}) + (L_2 - L_1)Z_13KI_{0F}](a - a^2)}{a^2I_{Ma1}' - aI_{Ma2}} \right|$$

$$= 0 \quad (16)$$

L_1, L_2 的求解步骤如下 ($U_{Mb}, U_{Mc}, I_{Ma1}', I_{Ma2}, I_{Ma0}$ 均为可测量):

(1) 由式(15) 求出 L_1 ; (解一个一元一次方程)

(2) 将(1) 求出的 L_1 值代入式(9) 求出 D_{1F} 并进而由式(7) 求出 I_{0F} ;

(3) 将(1) 求出的 L_1 及(2) 求出的 I_{0F} 代入式(16) 即可求出 L_2 。

式(13)、(14) 或(15)、(16) 中无接地电阻、消弧线圈(或电阻) 的阻抗, 分子中 $I_{Mb}L_1Z_1, I_{Mc}L_2Z_1$ 与 U_{Mb}, U_{Mc} 中包含的相应负荷分量抵消, $I_{Ma1}, I_{Ma2}, I_{Ma0}$ 均不含负荷分量。因此, 测距公式不受负荷电流、接地点的电阻 (R_1, R_2)、消弧线圈(或电阻) (Z_{L1}, Z_{L2}) 的影响。大量的数字仿真印证了这一结论, 式(15), (16) 误差 $< \pm 2\%$ 。推广则可得到一般的测距公式为:

$$I_M \left| \frac{[U_{Mn1} - L_1Z_1(I_{Mn1} + 3KI_{Ma0})](K_{n1} - K_{n2})}{I_{Mn21}' - I_{Mn22}} \right| = 0 \quad (17)$$

$$I_M \left| \frac{[U_{Mn2} - L_2Z_1(I_{Mn2} + 3KI_{Ma0}) + (L_2 - L_1)Z_13KI_{0F}](K_{n2} - K_{n1})}{I_{Mn11}' - I_{Mn12}} \right|$$

$$= 0 \quad (18)$$

式中各参数的意义如下:

$n1$ —— 距离较近点接地短路的相别;

$n2$ —— 距离较远点接地短路的相别;

K_{n1} —— 与 $n1$ 对应的相量;

K_{n2} —— 与 $n2$ 对应的相量。

上述参数取值如下表所示:

表 1 $n1, n2, K_{n1}, K_{n2}$ 取值表

	A	B	C	A	B	C
$n1$	A	B	C	A	B	C
$n2$	B	A	B	C	C	A
K_{n1}	1	a^2	a	1	a^2	A
K_{n2}	a^2	1	a^2	a	a	1

几点讨论:

(1) 中性点不接地系统相当于 $Z_{L1} = Z_{L2} = \infty, I_{Ma0} = 0, I_{0F} = -I_{0D}$

(2) M 侧装了消弧线圈(或电阻), N 侧没装消弧线圈(或电阻) ($Z_{L2} = \infty$)

(3) M 侧没装消弧线圈(或电阻), N 侧装了消弧线圈(或电阻), ($Z_{L1} = \infty$), $I_{Ma0} = 0$

(4) N 侧无电源, 相当于 $D_{IF} = D_{ID} = 1$

2.2 工况二: 讨论 P 点的测距

式(1) ~ (8) 为 F, D 点的边界条件, 它们对今后讨论的所有工况均成立。

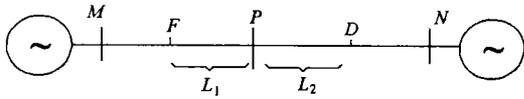


图3 模型一工况二系统图

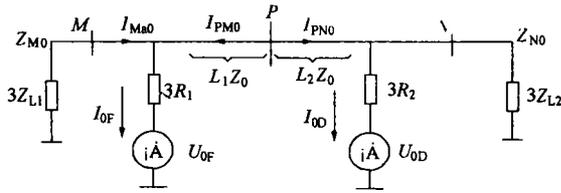


图4 模型一工况二零序图

由分析知:

$$D_{1F} = \frac{(L_{MP} - L_1)Z_1 + Z_{M1}}{Z_{M1} + L_{MN}Z_1 + Z_{N1}} \quad (19)$$

$$D_{1D} = \frac{-(L_{PN} - L_2)Z_1 + Z_{N1}}{Z_{M1} + L_{MN}Z_1 + Z_{N1}} \quad (20)$$

$$U_{Pb} = L_1Z_1(I_{PMb} + 3KI_{PM0}) + 3R_1I_{0F} \quad (21)$$

$$U_{Pc} = L_2Z_1(I_{PNc} + 3KI_{PN0}) + 3R_2I_{0D} \quad (22)$$

仿工况一的推导可得相应的测距公式:

$$I_M \left| \frac{[U_{Pb} - L_1Z_1(I_{PMb} + 3KI_{PM0})](a^2 - a)}{aI_{PM1}' - a^2I_{PM2}} \right| = 0 \quad (23)$$

$$I_M \left| \frac{[U_{Pc} - L_2Z_1(I_{PNc} + 3KI_{PN0})](a - a^2)}{a^2I_{PN1}' - aI_{PN2}} \right| = 0 \quad (24)$$

推广亦可得一般测距公式:

$$I_M \left| \frac{[U_{Pn1} - L_1Z_1(I_{PMn1} + 3KI_{PM0})](K_{n1} - K_{n2})}{I_{PMn21}' - I_{PMn22}} \right| = 0 \quad (25)$$

$$I_M \left| \frac{[U_{Pn2} - L_2Z_1(I_{PNn2} + 3KI_{PN0})](K_{n2} - K_{n1})}{I_{PNn11}' - I_{PNn12}} \right| = 0 \quad (26)$$

上式中 n_1, n_2, K_{n1}, K_{n2} 各参数的定义及取值同表一。由式(25), 式(26) 解两个一元一次方程即可求出 L_1, L_2 。

几点讨论:

(1) P 点有电源, D_{1F}, D_{1D} 的表达式与 (19)、(20) 不同, 但因 U_{Pb}, U_{Pc} 的表达式与式(21)、式(22) 相同, 仍可推得与式(25)、(26) 完全相同的测距公式。

对于无电源的支路, 以 N 侧为例, 因 $I_{PN0} = I_{0D}$, 其测距公式可简化为:

$$I_M \left| \frac{[U_{Pn2} - L_2Z_1(I_{PNn2} + 3KI_{PN0})]}{I_{PN0}} \right| = 0 \quad (27)$$

(2) P 点、N 点均无电源, L_2 的测距公式与式(27) 完全相同, 因从 P 点无法测得 F 点故障时 PM 的故障量, 因而 L_1 无法测出, 但可由 M 点测出 F、D 点。

3 模型二

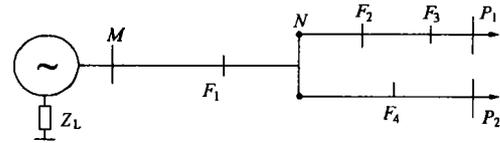


图5 模型二的系统图

3.1 工况一

M 点测距与模型一中工况一的讨论(4) 情况相同。

3.2 工况二

N 点测距

(1) F_2, F_3 。与模型一中工况一的讨论(4) 情况相同。

(2) F_1, F_2 。与模型一中工况二的讨论(1) 情况相同。

(3) F_2, F_4 。与模型一中工况二的讨论(1) 中 M、N 均为无电源支路情况相同。

4 模型三

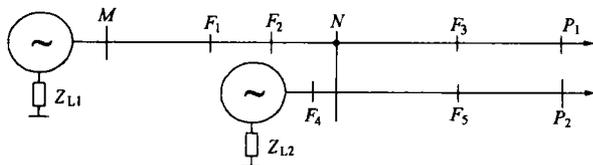


图6 模型三的系统图

4.1 工况一。M 点测距。它有以下几种典型的两点异相接地故障组合:

- (1) F_1, F_2 。与模型一中工况一情况相同。
- (2) F_1, F_4 。与模型一中工况一情况相似。
- (3) F_1, F_3 。可由 N 点测距确定。

4.2 工况二。N 点测距。它有下面几种典型的两点异相故障组合。

- (1) F_1, F_2 。与模型一中工况一情况相同。
- (2) F_2, F_3 或 F_4, F_3 。与模型一中工况二的讨论(1) 情况相同。
- (3) F_3, F_5 。与模型二中工况二的(3) 情况相同。

5 结论

本文选取了小电流接地系统中几个最常见的线

路模型,对其不同的两点发生的异相单相接地故障的测距进行了大量的分析,并运用对称分量法首次推出了相应的测距公式。这些测距公式具有下述优点:

(1) 各测距公式均消除了负荷电流、接地电阻对测距的影响。

(2) 各测距公式均消除了消弧线圈(或电阻)存在及分布方式对测距的影响,它们既可用于中性点经消弧线圈(或电阻)接地系统,也可用于中性点不接地系统,且有更简单的形式。

(3) 当故障发生在测距点两侧时(模型一工况二),其测距公式排除了两端系统参数对测距的影响,且测距公式具有相同的形式。

(4) 所有测距公式的求解简单,只需求解两个一元二次方程或两个一元一次方程(把 D_{1F} 、 D_{1D} 看作实数),即可求出相应的 L_1 、 L_2 。

(5) 大量的数字仿真计算表明,本文所推出的各

测距公式是可行的。

参考文献

- 1 Phadke A G, Hlika T, Ibrahim M, Adamiak M G. A Micro-computer Based Symmetrical Component Distance Relay. Proceedings of PICA, April 1979 IEEE.
2. Yang Q S et al. Microprocessor - based Algorithm for High - Resistance Earth - Fault Distance Protection. IEE proceedings, Vol. 130 1Pt. c, No - 6, Nov. 1983.
- 3 电力部电力自动化研究院, WJX 型小电流接地系统接地选择装置技术说明书。

收稿日期:1998-09-22

邱建国 男,1965年生,硕士,从事电力系统继电保护运行整定计算。

钟煜秀 男,1935年生,教授,从事电力系统继电保护工作及教学工作。

FAULT LOCATION OF TWO - POINT EARTH - FAULT WITH DIFFERENT PHASES IN LOW EARTH - FAULT CURRENT SYSTEM

Qiu Jian Guo(Guang Dong Provincial Electric Power Dispatching Center, 510600, Guangzhou, China)

Zhong Min Xiu(Chong Qing University, 630000, Chong Qing, China)

Abstract The characteristics of several typical operating conditions of two - point earth - fault with different phases in low earth - fault current system are analyzed in this paper, the fault location algorithms based on symmetrical component method are presented. The algorithms can exclude the influences of fault resistance, load current and arc - suppression coil(or resistance). A lot of digital simulation calculations indicate that the fault location algorithms are feasible.

Keywords Low earth - fault current system Fault location Algorithm Two - point earth - fault with different phases

一种适用于多种微机保护产品的软硬件平台

微型继电保护产品主要软硬件技术集中在保护单元、人机接口单元(其它部分是 CT、PT 变换器;逆变电源;出口继电器等回路)。这二者的性能直接影响到整个保护产品的保护性能、开发周期、运行与维护等。

许继电气公司在总结了该公司多种保护系统的基础上,分析对比了国内外主要同类产品,新近推出了一种适用于多种保护产品的软硬件平台,其主要原理采用 DSP+80X86 模式,以 DSP 系统作为保护单元,包括数据采集、开关量监视、实现保护控制功能、出口及信号回路、与 MMI 和后台机通信等功能。以 80X86 系统作为人机接口单元,完成自动巡检、信息存储及报告、信息显示(汉显)、定值管理、报警处理等功能。

1. 保护单元 (1)采用 32 位浮点 DSP 技术,数据处理能力较常规保护产品有较大提高;(2)16 位精度的 ADC,数据采集精度高,范围大;(3)硬件资源丰富;(4)提供了系统软件平台(含系统自检,与人机接口单元通信等软件),在此基础上二次开发者可采用 C 语言/汇编语言混合编程;(5)遵循国际标准的 6U 尺寸,多层板,表面贴装工艺强、弱电回路分开的连接器结构,可靠性高。

2. 人机接口单元 (1)AM186ES/40M 嵌入式微处理器,运算速度快,支持软件丰富;(2)硬件资源丰富;(3)嵌入 RTOS 操作系统 VRTXx86/mm;(4)应用开发采用强实时的编程语言 Microtec C 和 Microtec ASM。

由于如上所述的特点,该软硬件平台适用于多种继电保护产品。保护设计工程师在此平台上开发产品,避免了软、硬件的重复开发;便于软件开发,便于维护;便于公司生产管理;便于调试人员熟练掌握各种保护产品的调试;便于用户熟练掌握。

(许昌继电器研究所 易永辉 张东江)