

树形配电线路单相断线兼接地故障测距新算法

贾文超 吉林工学院 长春 (130012)
许承斌 王毅 哈尔滨工业大学 哈尔滨 (150001)

【摘要】 针对树形配电线路特点,建立分布参数电路模型,利用故障后线路起始端的电压、电流相量,提出了树形配电线路单相断线兼接地故障测距的新算法,大量计算机仿真表明该算法有效。

【关键词】 分布参数模型 故障测距 故障诊断

从现有文献看,电力线路故障测距算法原理主要有两类,即阻抗法和行波法^[1]。但它们多数只适用于无分支线路,对有分支的树形线路不能直接使用^{[1][2][3]}。以往对电力线路故障测距的研究基本上是基于单一故障进行的,而象单相断线兼接地故障这样的典型复故障也是分支线路常见故障之一,已引起人们的关注^[2]。鉴此,本文基于分布参数电路模型,提出了一种树形分支配电线路单相断线兼接地故障测距新算法,大量的计算机仿真表明,本算法具有很高的精度。

1 无分支线路故障点测距电路模型的建立

当分支线路因断线兼接地故障而停电时,在起始端将三相短接并加入正弦信号和检测电阻。图1为无分支线路单相断线兼接地故障模型。待电路达到稳态后,测量信号电压相量和检测电阻上的电压相量,籍此计算故障位置。本文研究等边三角形换位架线方式,因此研究三相中任一相发生故障都具有普遍意义,图1假定A相在距离起始端 x 处发生单相断线兼接地。

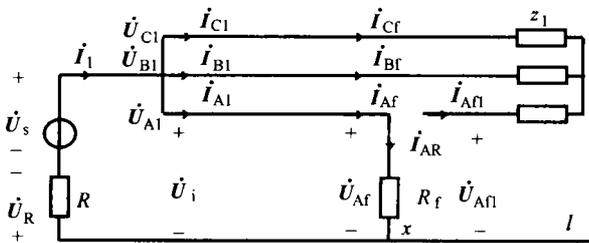


图1 单相断线兼接地模型

由于A相故障,形成不对称三相电路。需将不对称的三相电压电流分解成对称序分量,然后建立序分量的传输线方程。为此在故障点 x 处分别用电压源置换三相对地的阻抗及开路点间的电压相量。

线路起端电压电流的边界条件为:

$$\dot{U}_{A1} = \dot{U}_{B1} = \dot{U}_{C1} = \dot{U}_i \text{ 和 } \dot{I}_{B1} = \dot{I}_{C1} \neq \dot{I}_{A1} \quad (1)$$

应用对称分量法不难得到A相始端的零序分量、正序分量和负序分量:

$$\dot{U}_{A1}^{(0)} = \dot{U}_i, \dot{I}_{A1}^{(0)} = \frac{1}{3} \dot{I}_1 \text{ 和 } \dot{U}_{A1}^{(1)} = \dot{U}_{A1}^{(2)} = 0 \quad (2)$$

其中: $\dot{U}_{A1}^{(0)}$ 、 $\dot{U}_{A1}^{(1)}$ 、 $\dot{U}_{A1}^{(2)}$ 及 $\dot{I}_{A1}^{(0)}$ 分别为线路始端的零序、正序、负序电压分量和零序电流分量。

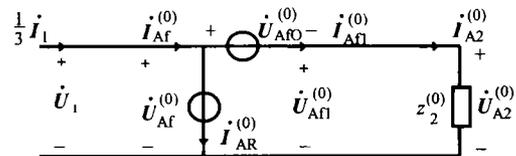
在故障点 x 处满足如下边界条件:

$$\begin{cases} \dot{U}_{A10} \neq \dot{U}_{B10} = \dot{U}_{C10} = 0 \\ \dot{I}_{Bf} = \dot{I}_{Cf} = \dot{I}_{Bf1} = \dot{I}_{Cf1} \\ \dot{I}_{Af} \neq \dot{I}_{Af1} = 0 \\ \dot{I}_{AR} \neq \dot{I}_{BR} = \dot{I}_{CR} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

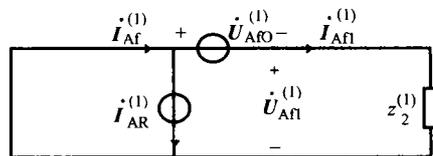
其中: \dot{U}_{A10} 、 \dot{U}_{B10} 和 \dot{U}_{C10} 分别为 A、B、C 相在短路点间的电压相量, \dot{I}_{Af} 、 \dot{I}_{Af1} 分别为 A 相流向和流出 x 处的电流相量, \dot{I}_{Bf} 、 \dot{I}_{Bf1} 、 \dot{I}_{Cf} 、 \dot{I}_{Cf1} 分别为 B、C 相流向和流出 x 处的电流相量, \dot{I}_{AR} 、 \dot{I}_{BR} 和 \dot{I}_{CR} 分别为 A、B、C 相在 x 处流经短路过渡电阻的电流相量。

在图1电路的故障点处,应用对称分量法可求得:

$$\dot{I}_{AR}^{(0)} = \dot{I}_{AR}^{(1)} = \dot{I}_{AR}^{(2)} = \frac{1}{3} \dot{I}_{AR} \text{ 和 } \dot{U}_{Af}^{(1)} = \dot{U}_{Af}^{(2)} \quad (4)$$



(a) 零序等效电路



(b) 正序等效电路

图2 序分量等效电路

其中: $\dot{I}_{AR}^{(0)}$ 、 $\dot{I}_{AR}^{(1)}$ 、 $\dot{I}_{AR}^{(2)}$ 分别为流经过渡电阻电

流相量的零序、正序和负序分量, $\dot{U}_{Af}^{(1)}$ 、 $\dot{U}_{Af}^{(2)}$ 分别为过渡电阻上电压相量的正序和负序分量。

根据式(2)和(4)可分别画出图 2 所示 A 相的零序和正序等效电路。 $\dot{U}_{Af}^{(0)}$ 、 $\dot{I}_{Af}^{(0)}$ 、 $\dot{I}_{Afl}^{(0)}$ 分别为故障电阻电压相量的零序分量和 A 相流至和流出 x 处电流的零序分量。

2 无分支线路测距诊断方程的建立

参照图 2a 对故障点 x 前后两段线路分别列写传输线方程和终端方程:

$$\begin{cases} \dot{U}_{Af}^{(0)} = \dot{U}_i \text{ch} \gamma_0 x - \frac{1}{3} \dot{I}_1 z_{c0} \text{sh} \gamma_0 x \\ \dot{I}_{Af}^{(0)} = \frac{1}{3} \dot{I}_1 \text{ch} \gamma_0 x - \frac{\dot{U}_i}{z_{c0}} \text{sh} \gamma_0 x \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} \dot{U}_{Afl}^{(0)} = \dot{U}_{A2}^{(0)} \text{ch} \gamma_0 (l-x) + \dot{I}_{A2}^{(0)} z_{c0} \text{sh} \gamma_0 (l-x) \\ \dot{I}_{Afl}^{(0)} = \dot{I}_{A2}^{(0)} \text{ch} \gamma_0 (l-x) + \frac{\dot{U}_{A2}^{(0)}}{z_{c0}} \text{sh} \gamma_0 (l-x) \\ \dot{U}_{A2}^{(0)} = Z_2^{(0)} \dot{I}_{A2}^{(0)} \end{cases} \quad (6)$$

其中: γ_0 、 z_{c0} 分别为线路的零序传播常数和零序波阻抗。

要由图 2 的序分量等效电路实现故障定位, 需首先确定 \dot{I}_{Afl} 的零序、正序分量。为此抽出 B 相, 考虑到 B 相与 A 相具有相同的起端条件, 于是对 B 相列写形如式(5)、(6)的各序分量的传输线方程, 并应用式(3)的边界条件即得:

$$\dot{I}_{Bf} = \frac{3\dot{U}_i \text{ch} \gamma_0 x - \dot{I}_1 z_{c0} \text{sh} \gamma_0 x - (\alpha^2 z_{11}^{(1)} + \alpha z_{11}^{(2)}) \dot{I}_{AR}}{2z_{21}^{(0)} - \alpha^2 z_{11}^{(1)} - \alpha^2 z_{21}^{(1)} - \alpha z_{11}^{(2)} - \alpha z_{21}^{(2)}} \quad (7)$$

式中: $z_{21}^{(0)}$ 、 $z_{21}^{(1)}$ 和 $z_{21}^{(2)}$ 分别为 B 相 x 处至终端的零序正序负序等效阻抗, $z_{11}^{(1)}$ 、 $z_{11}^{(2)}$ 分别是 x 处至线路始端的正序负序等效阻抗, 可分别列写对应的序分量的传输线方程得到, α 是复常量因子, $\alpha = e^{j120^\circ}$ 。

考虑到边界条件式(3), 应用对称分量法便得:

$$\dot{I}_{Afl}^{(0)} = \frac{2}{3} \dot{I}_{Bf} \text{ 和 } \dot{I}_{Afl}^{(1)} = -\frac{1}{3} \dot{I}_{Bf} \quad (8)$$

由图 2a 及式(5)、(8)即得:

$$\dot{I}_{AR}^{(0)} = \dot{I}_{Af}^{(0)} - \dot{I}_{Afl}^{(0)} \text{ 和 } \dot{U}_{Afo}^{(0)} = \dot{U}_{Af}^{(0)} - \dot{I}_{Afl}^{(0)} z_{211}^{(0)} \quad (9)$$

式中: $z_{211}^{(0)}$ 是图 2a 中断路点至线路终端的零序等效阻抗, 可利用式(6)求之。由图 2b 不难看出:

$$\dot{U}_{Af}^{(1)} = \dot{U}_{Afo}^{(1)} + \dot{I}_{Afl}^{(1)} Z_{211}^{(1)} \quad (10)$$

式中: $Z_{211}^{(1)}$ 为线路的断路点至终端的正序等效阻

抗, 应用图 2b 由断路点至终端列写传输线方程和终端方程可求, 由式(3)可知: $\dot{U}_{Afo}^{(0)} = \dot{U}_{Afo}^{(1)}$ 。

由式(4)便知过渡电阻:

$$\mathbf{R}_f = \frac{\dot{U}_{Af}}{\dot{I}_{AR}} = \frac{\dot{U}_{Af}^{(0)} + 2\dot{U}_{Af}^{(1)}}{3\dot{I}_{AR}^{(0)}} \quad (11)$$

式中: $\dot{I}_{AR}^{(0)}$ 、 $\dot{U}_{Af}^{(0)}$ 和 $\dot{U}_{Af}^{(1)}$ 可根据式(9)、式(5)和式(10)分别求得。

式(11)中 \mathbf{R}_f 为距离 x 的复函数, 一般情况下, 过渡电阻 \mathbf{R}_f 为实数, 因此令上式中 \mathbf{R}_f 的虚部为零, 便可得到故障距离 x 的值, 即:

$$\text{Im}[\mathbf{R}_f] = 0 \quad (12)$$

称式(12)为无分支线路的测距诊断方程。若对式(12)迭代求解得到故障距离 x , 则将 x 代入式(11), 即求出 \mathbf{R}_f 的具体值, 称式(11)为定值方程。

3 树形分支线路故障点的测距

本文所研究的分支线路故障测距问题比上述无分支线路的情形更为复杂。由于有分支将带来以下三方面问题: (1) 各分支终端负载的获取; (2) 各分支起端电压、电流相量的获取; (3) 诊断时会出现等效的伪故障点, 须作真伪故障的识别。图 3 是五分支树形线路示意图。

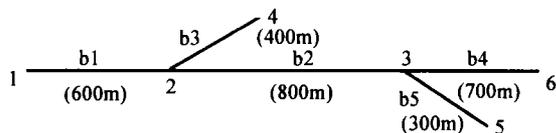


图 3 树形配电线路

首先, 对各节点、分支进行编号, 并转换成计算机易于识别的信息, 以形成适应计算要求的流程控制信息。图 3 中有 b1~b5 共 5 条分支。诊断时假设分支 k ($k=1\sim 5$) 发生断线兼接地, 其它分支均正常。分支 k 的零序、正序终端等效负载可分别通过后续分支的等效输入阻抗逐分支向前推算而获得, 分支 k 的起端零序电压、电流相量的计算采用诊信从起始端逐分支向后传递而获得。据此, 设计出了适用于任何拓扑结构树形线路的通用测距诊断程序。

对于等效的伪故障采用双频诊断法进行真伪鉴别。理论上可以证明^[2], 对于真故障在两种频率下诊断的结果应该一致, 而对于伪故障在两种频率下诊断结果存在明显差异。

4 算例分析

对图 3 所示树形分支配电线路, 采用计算机仿真对本文的测距原理和算法进行验证。选取双频诊

信频率须满足其四分之一波长大于线长,以确保测距方程在线长范围内单值。据此诊信频率分别选10kHz和6kHz,输出幅值20V,检测电阻选200Ω,接地过渡电阻选20Ω。

仿真结果如表1所示。由表中可见,本文算法具有很高的测距精度,根据双频法诊断出的故障距离差进行的故障排序,将所有的真故障均排在了第一位,可精确地识别伪故障。

表1 故障诊断结果

假定故障		仿真诊断结果					
分支	距离	故障分支	双频诊断距离差	故障距离	伪故障分支	双频诊断距离差	伪故障距离
1	200	1	0.000018	199.999997	无		
2	350	2	0.000000	350.000000	3	20.399523	350.237703
3	50	3	0.000000	50.000000	2	2.218104	49.261093
4	500	4	0.000021	500.000002	无		
5	150	5	0.000000	150.000000	4	3.532645	148.561280

5 结论

大量计算机仿真表明,本文提出的诊断原理和算法能实现树形分支线路故障分支的识别和故障点的测距。本方法不存在原理性测距误差,测距精度

只受线路波参数及线长和起始端口电压电流相量测量精度的影响。测量方法简单、方便,只须在线路始端测量即可。在满足线长小于四分之一波长时,测距方程严格单值,且收敛快,易于求解。

参考文献

- 1 束洪春,许承斌,徐贤敏,陈学允.10kV或6kV直配线路单相接地故障测距的新算法.中国电机工程学报,1995,(5):123~128.
- 2 王毅.树型配电线路故障诊断与仿真的通用程序设计.哈尔滨工业大学工学硕士学位论文,1996,1.
- 3 Girgis A A, Hart D G. A New Fault Location Technique for Two and Tree Terminal Lines. IEEE Transactions on Power Delivery, 1992, 7(1).

收稿日期:1998—08—28

贾文超 男,1965年生,硕士,从事电网故障诊断和电路理论教学工作。

王毅 男,1966年生,博士,从事控制系统研究和电路理论教学工作。

许承斌 男,1934年生,教授,从事理论电工研究和电路理论教学工作。

STUDY OF FAULT LOCATION NEW ALGORITHM FOR LINE - OPEN WITH LINE - TO - GROUND ON RADIAL DISTRIBUTION NETWORK

Jia Wenchao (Ji Lin Technology college, 130012)

Xu Chengbin, Wang Yi (Harbin Institute of Technology, Harbin, 150001)

Abstract Based on distributed parameter circuit model constructed according to the characteristics of the radial distribution network, this paper presents a new algorithm for line - open with line - to - ground fault location. The algorithm utilizes post - fault voltage and current phasors at initial end. A lot of fault diagnosis simulation by computer shows that the algorithm presented in the paper is effective.

Keywords Distributed parameter model Fault location Fault diagnosis

《输配电设备手册》正在编辑中

为了使信息工作更好地为国家基础建设工作服务,中国电器工业协会和机械科技信息研究院受委托组织由研究所和行业协会编辑出版《输配电设备手册》(以下简称手册)一书,是全面反映我国国产(含合资企业、外资独资企业在境内生产的产品)输配电系统使用的电器设备产品的水平、品种的专业工具书,全面汇集了输配电设备的现有产品的型号规格和参数。《手册》对目前及今后几年内城市电网和农村电网的建设和改造工程提供较全面的设备选型的参数资料,同时也是对大型工矿企业、水利设施、电气化铁道以及国防建设中输配电工程设施设计和设备采购的参考资料,该《手册》也是输配电设备科研、设计、生产制造、教育、成套和销售单位的实用的工作手册。

《手册》以城市、农村电网所需设备为主来考虑产品信息的编撰工作,同时为照顾到骨架电网用电气设备的需要,《手册》也全面汇集了500kV、330kV电压等级相应的电器设备。因此该《手册》汇集了电压等级500kV及其以下各级电压等级直到380V/220V的低压配电电压等级的产品。

《手册》包括的产品有变压器、高压开关、电力电容器、避雷器及绝缘子、继电保护及自动化设备、电线电缆、低压电器、低压成套配电设备、电气附件、电气计量装置等10个专业中有关输电、配电系统中使用的电气设备和器件。

由中国电器工业协会、机械科技信息研究院、相关产品研究所的有关人员组成《输配电设备手册》编委会,冯炳阳任编委会主任。

该《手册》的规模初步确定为200万字左右,16开本,约1500页左右,预计1999年中期出版发行,请关注出版动向,可与中国电器工业协会继电器及其装置分会秘书处联系,电话:0374—3212441,传真:0374—3315273。(杨国翊)