

# 树形配电线路相间短路故障的多端诊断方法

贾文超 许承斌 哈尔滨工业大学电气工程系 (150001)

李志达 东北传感技术研究所 (150001)

**【摘要】** 针对树形配电线路特点, 选取适当频率的正弦诊断信号, 建立分布参数电路模型。相间短路故障后, 在线路始端和所有末端分别施加正弦诊断信号, 并检测激励所在端口的电压电流相量, 以此实现故障分支的识别和短路点的定位, 大量的计算机仿真和在仿真线上的实验表明, 本方法有效。

**【关键词】** 故障定位 树形配电线路 分布参数模型 故障诊断

## 引言

以往对于电力线路故障测距的研究大多是基于无分支线路进行的<sup>[1]</sup>。对于多分支树形配电线路(见图1)故障测距的原理和方法尚不成熟, 还是一有待于进一步研究的课题。对树形线路而言, 由于分支的引入, 故障测距时会出现等效的伪故障点。多频法虽然在理论上可识别伪故障<sup>[2]</sup>, 但现场测试到的数据存在噪声, 常使多频法失效。鉴此, 本文提出于故障后, 在树形线路的始端和所有末端, 分别加入正弦诊断信号于发生短路的两相间, 并分别检测诊信所在端口的电压电流相量, 采用诊信逐分支向后传递, 短路点逐分支搜索的方法, 一并完成故障分支的识别和短路点的定位。大量的计算机仿真和在仿真线路上的实验表明, 该方法具有很高的精度。

## 1 任意分支相间短路电路模型与测距方程的建立

本文提出的诊断方法是在所有可及端口分别施加正弦诊断信号, 诊信逐分支向后传递, 短路点逐分支搜索来实现故障定位。为此需建立任意分支的故障模型和测距方程。图2为某一分支  $b_i$  的相间短路电路模型。

图2中  $x$  是  $b_i$  始端至故障点的距离,  $L_i$  是

$$R_f = \frac{U_f}{I_f - I_{f1}} = \frac{z_{Li} \dot{U}_{1i} - z_{ci} z_{Li} \dot{I}_{1i} \operatorname{th}_i x + z_{ci} \dot{U}_{1i} \operatorname{th}_i (l_i - x) - z_{ci}^2 \dot{I}_{1i} \operatorname{th}_i (l_i - x)}{z_{ci} (z_{Li} \dot{I}_{1i} - \dot{U}_{1i}) [1 + \operatorname{th}_i x + \operatorname{th}_i (l_i - x)] + (z_{ci}^2 \dot{I}_{1i} - z_{ci} \dot{U}_{1i}) [\operatorname{th}_i x + \operatorname{th}_i (l_i - x)]} z_{ci} \quad (3)$$

$b_i$  分支的线长,  $\dot{U}_{1i}$  和  $\dot{I}_{1i}$  是  $b_i$  始端的电压相量和电流相量,  $z_{Li}$  是  $b_i$  终端等效负载阻抗,  $R_f$  是短路过渡电阻。从  $b_i$  始端至  $x$  处应用传输线方程:

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_f \\ \dot{I}_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \operatorname{ch}_i x & -z_{ci} \operatorname{sh}_i x \\ z_{ci} \operatorname{sh}_i x & \operatorname{ch}_i x \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_{1i} \\ \dot{I}_{1i} \end{bmatrix} \quad (1)$$

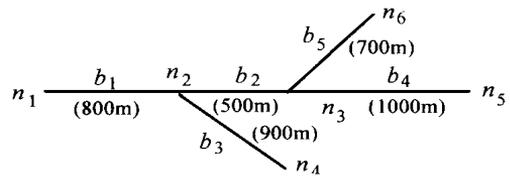


图1 树形配电线路

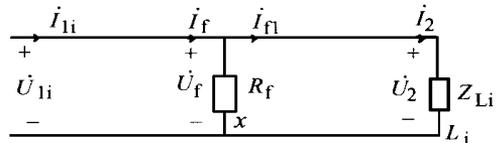


图2 相间短路电路模型

从  $L_i$  处至  $x$  处应用传输线方程和终端方程:

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_f \\ \dot{I}_{f1} \\ \dot{U}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \operatorname{ch}_i (l_i - x) & z_{ci} \operatorname{sh}_i (l_i - x) \\ \operatorname{sh}_i (l_i - x) & \operatorname{ch}_i (l_i - x) \\ 0 & z_{Li} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中:  $\gamma_i$ 、 $z_{ci}$  分别为  $b_i$  分支线路的传播常数和波阻抗。由式(1)、(2) 不难得到:

式中只有  $R_f$  和  $x$  是未知量,并不难看出  $R_f$  是  $x$  的复函数。一般情况下  $R_f$  是实数,因此有:

$$\text{Im}[R_f] = 0 \quad (4)$$

式(4)是  $x$  的非线性方程,通过迭代法可求出  $x$ ,称式(4)为任意分支线路测距诊断方程。若  $x$  已求得,则代入式(3)中便得到  $R_f$  的具体值,称式(3)为定值方程。

## 2 树形配电线路任意分支端口条件的获取

本文研究树形配电线路单一故障测距。从前面建立的测距方程可看出,要对任意分支  $b_i$  进行故障测距,必须获取其起端电压、电流相量  $(\dot{U}_1, \dot{I}_1)$  和末端等效阻抗  $z_{Li}$ 。为此,需对线路的节点、分支进行编号,并由计算机形成易于计算的流程控制信息。

对任意分支  $b_i$ (见图3),若其是起始分支,则其起端电压、电流相量即为测试量。对非起始分支可通过线路起始端测得的电压、电流相量逐层逐节点逐分支向后传递获得,在此总假定故障发生在当前分支,其余分支均正常。对图3的典型传递单元,假定  $b_i$  发生故障,考虑到  $b_{i+1}$  的分流,并从节点  $n_1$  到  $n_2$  应用传输线方程,则得  $b_i$  分支起端的电压、电流相量:

$$\begin{cases} \dot{U}_{1i} = \dot{U}_{1i-1} \text{ch}_{i-1} l_{i-1} - \dot{I}_{1i-1} \text{sh}_{i-1} l_{i-1} \\ \dot{I}_{1i} = \dot{I}_{1i-1} \text{ch}_{i-1} l_{i-1} - \frac{\dot{U}_{1i-1}}{z_{ci-1}} \text{sh}_{i-1} l_{i-1} \end{cases} \quad \text{在理} 1 - \frac{\dot{U}_{1i}}{z_{bi+1}} \quad (5)$$

式中  $z_{bi+1}$  是  $b_{i+1}$  分支从节点  $n_2$  向节点  $n_3$  看的等效阻抗,本文定义为  $b_{i+1}$  的输入阻抗,应用式(2)即得:

$$z_{bi+1} = \frac{z_{ci+1} \text{sh}_{i+1} l_{i+1} + z_{Li+1} \text{ch}_{i+1} l_{i+1}}{z_{ci+1} \text{ch}_{i+1} l_{i+1} + z_{Li+1} \text{sh}_{i+1} l_{i+1}} \quad (6)$$

对任意分支  $b_{i-1}$ (见图3),若其终端直接接负载,则  $Z_{Li-1}$  即为负载阻抗。否则需从线路最外层逐层逐分支逐节点向  $b_{i-1}$  分支终端计算而获得。对图3的典型单元,应用式(6)便得到  $b_i$  和  $b_{i+1}$  的输入阻抗  $Z_{bi}$  及  $Z_{bi+1}$ ,由此得到  $b_{i-1}$  的终端等效负载阻抗:

$$z_{Li-1} = \frac{1}{1/z_{bi} + 1/z_{bi+1}} \quad (7)$$

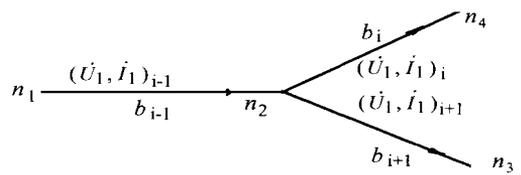


图3 测试信号传递单元

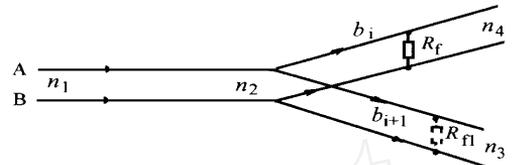


图4 典型伪故障产生情形

## 3 树形配电线路多端故障诊断方法

本文提出的诊断方法是在线路某一可及端口施加正弦诊断信号,待电路达到稳态后,检测该端口的电压、电流相量,以诊信逐分支向后传递、短路点逐分支搜索的方式实现故障分支的识别和短路点的定位。当满足线长小于四分之一诊信波长时,测距方程在每一分支线长内均无伪根。据此,可设计出适应任意拓扑结构树形配电线路的通用故障测距软件。

对某一分支  $b_i$ ,若存在短路点,则用前述方法传递所得的端口条件必然会使测距方程在  $b_i$  线长内有解  $x_i$ ,  $x_i$  即为故障距离。若  $b_i$  分支正常,则传递所得的端口条件  $(\dot{U}_1, \dot{I}_1)_i$  必不真实,同时  $Z_{Li}$  也可能不真实,于是可能出现测距方程有解,即出现等效的假短路点,称为伪故障点。伪故障的产生还有另外的情形(见图4),若  $b_i$  分支的 A 相和 B 相在距  $n_2$  节点  $x$  处发生了过渡电阻为  $R_f$  的短路故障,同时若在  $b_{i+1}$  分支上距  $n_2$  节点  $x_1$  处存在  $R_{f1} \in [0, +\infty]$ ,使得二者对  $n_2$  节点阻抗的影响一致,那么在线路起端通过  $n_2$  节点反馈的信息,将不能区分短路点在  $b_i$  上还是在  $b_{i+1}$  上,即同样产生了伪故障。

目前,对伪故障的鉴别多采用多频诊断法。但实际采集到的数据存在噪声,常使多频法失效。鉴此,本文提出利用多端诊断法鉴别故障的真伪。首先于故障后在离线情况下,在线路起始端于短路的两相间施加诊信,并检测该端口的

电压电流相量,利用通用诊断程序识别故障分支和实现短路点的测距。然后在线路所有末端重复以上操作。若在某一端口测得  $m$  个故障分支,于另一端口测得  $n$  个故障分支,依次将所有测试端口测试完毕,那么在所有测试结果中必唯一存在一共有故障分支  $b_i$ ,  $b_i$  便是真实故障分支。至此,提出以下辨别故障分支真伪的定理。

定理  $b_i$  是真实故障分支的充分必要条件是:

- (1) 测距方程在  $[0, l_i]$  内有解,定值方程在  $[0, +\infty)$  内有值;
- (2) 树形线路起端和所有末端均为可测端口;
- (3) 所有可测端口诊断出的故障分支都含有  $b_i$ ,且  $b_i$  唯一。

限于篇幅,此定理在此不做证明。只做如下说明:条件(1)是  $b_i$  分支存在故障的必要条件;条件(2)保证所有分支均能在所有可能的诊信传递路径下诊断;条件(3)的依据是在不同诊信路径下诊断时,真实故障不变,伪故障不同。

#### 4 算例

选图1的五分支树形线路用自编的故障诊断与仿真程序,对本文提出的测距原理和方法进行验证。线路参数:  $z_c = 26.78 - j5.47$ ,  $= 0.1236 \times 10^{-3} + j0.6266 \times 10^{-3}/m$ ,线长见图1。测试信号频率根据线长选取10kHz,短路过渡电阻选取  $20 \Omega$ 。诊断结果见表1。由表1可见,本文方法能实现短路分支的准确识别和短路点的精确测距。

表1 故障诊断结果

假定故障		节点1诊断结果		节点4诊断结果		节点5诊断结果		节点6诊断结果		最终诊断结果	
分支	故障距离	分支	故障距离	分支	故障距离	分支	故障距离	分支	故障距离	分支	故障距离
2	200	2	199.95	1	602.93	2	199.95	2	199.95	2	199.95
		3	197.31	2	199.95	5	293.09	4	294.19		
3	700	3	700.05	3	700.05	1	102.34	1	102.34	3	700.05
		4	232.54			3	700.05	3	700.05		
		5	231.91								
4	600	4	599.98	4	599.98	4	599.98	1	677.15	4	599.98
		5	595.07	5	595.07			3	122.83		
								4	599.98		

#### 5 结论

本文方法能准确识别伪故障和实现短路点的精确测距,本方法不存在原理性误差,其测距精度只受端口相量测量精度和线路的波阻抗、传播常数及线长和终端负载阻抗测量精度的影响;在选取诊信频率使之满足线长小于  $1/4$  波长时,测距方程在任一支线长范围内均单调、且收敛快、易于求解。

#### 参考文献

- 1 肖东晖等. 架空输电线路故障测距方法综述. 电力系统自动化, 1993 (8): 46~53.

- 2 王毅. 树形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论文, 1996, 1.
- 3 Adly A. Gargis, David G. Hart, William L. Peterson. A new fault location technique for two and three-terminal lines. IEEE trans. on power delivery. 1992, 7 (1): 98~107.

贾文超,男,1965年生,硕士,讲师,现从事电网故障诊断研究和电路理论教学工作。

许承斌,男,64岁,教授,现从事理论电工研究工作。

李志达,男,29岁,硕士,现从事自动化测试与控制研究。(下转43页)

保护两电流相位差接近 $0^\circ$ 时,母及母联断路器动作;改变母联二次电流方向,经实测两电流相位差接近 $180^\circ$ ,母及母联断路器动作。向量图中, $I_1$ 表示差动回路电流向量; $I_2$ 表示母联回路电流向量。

本例所检验的母差保护动作行为符合原理设计,试验结果与分析一致。

### 3 结束语

自1990年以来,本人按以上介绍的方法对本单位母差保护按定检期限要求进行过几次试

验,并对在试验中检查出来的问题进行了处理。近年来,在母线上先后几次发生过短路故障,保护装置均按要求正确、迅速地切除了故障母线,防止了事故扩大,取得了满意效果。

#### 参考文献

- 1 王春生主编. 母线保护. 水力电力出版社,1993.
- 2 谭琼. 母联比相式母差保护带负荷传动试验. 继电器,1996,(2).

王道志,男,1959年生,助理工程师,现从事企业供电研究工作。

## A TEST EXAMPLE OF SUBSTATION BUS DIFFERENTIAL PROTECTION IN SERVICE

Wang Daozhi (Qingtong Xi Aluminum Plant of Ningxia Autonomous Region, 751603, China)

(上接11页)

## MULTI-TERMINAL METHOD OF FAULT DIAGNOSIS FOR S. C. BETWEEN TWO PHASES ON RADIAL DISTRIBUTION NETWORK

Jia Wenchao, Xu Chengbin, Li Zhida (Harbin Institute of Technology, 150001)

**Abstract** A distributed parameter circuit model is constructed according to characteristics of the radial distribution network and selection of appropriate frequency detection signal. This paper presents a method that sinusoid detection signal is given one after another at all measurable terminals after S. C. between two phases. By the way of voltage and current phasors at all measurable terminals detected, not only fault-branch identification but also fault location is completed. A lot of fault diagnosis simulation by computer and on fault model lines shows the method presented in the paper is effective.

**Keywords** Fault location Radial distribution network Distributed parameter model Fault diagnosis

### 信息快递

## 全国高校电力系统及自动化专业 第14届学术年会在哈尔滨工业大学召开

1998年10月11~16日,来自全国高校电自专业和电力系统运行与科研部门(包括香港地区)共44个单位近150名代表出席了此次盛会,其中中国科学院院士/中国工程院院士2名,国务院科学评议组成员5名,博士生导师18名。大会主席分别是哈工大副校长王树国教授、武汉水电大学电气工程学院院长柳瑞禹教授、华南理工大学电力学院副院长张尧教授。

电科院王平洋教授、清华大学卢强院士、南京自动化研究院薛禹胜院士、华北电力大学杨以涵教授、中国电力信息中心何大愚教授、电科院于尔铿教授作了专题报告。

大会录用了212篇论文,宣读了100篇论文,大会产生了32篇推荐论文。

会议期间代表们参观了哈工大校史展及部分开放实验室,下一届年会将于1999年在武汉水利电力大学举办。