

# 一种在线检测与诊断分支电网故障的新方法

张晓友 贲洪奇 翟国富 哈尔滨工业大学(150001)

**【摘要】** 本文以分支电网为研究对象,提出了一种新的在线检测与诊断故障的方法。该方法根据所测各端点的电流和电压,进行故障区间的确定和故障点的定位。经仿真证明,该方法是有效的。

**【关键词】** 分支电网 故障检测与诊断 故障定位

## 引言

输电线路发生故障以后,及时寻找故障点并排除故障,将会减少因停电而造成的综合经济损失。现有的输电线路故障点定位的方法分为行波法、参数估计法和故障阻抗定位法三大类。由于种种原因,前两类方法在实际中很少应用,在我国得以广泛应用的是故障阻抗定位法<sup>[1][2]</sup>,但主要应用该方法诊断无分支的输电线路。

本文将传统的故障阻抗定位法应用于分支电网(即多分支输电线路),提出了新的故障区间确定和故障点定位方法。

## 1 故障阻抗定位算法

图1所示双侧电源系统,线长为 $l$ ,在距离端点 $T_1$   $m$ 处发生三相短路,故障点的电流和电压分别为 $\dot{I}_f$ 和 $\dot{V}_f$ ,线路单位长度的正序阻抗为 $Z_{L1}$ ,则有:

$$\dot{V}_f = \dot{V}_1 - m Z_{L1} \dot{I}_1 \quad (1)$$

$$\dot{V}_f = \dot{V}_2 - (l - m) Z_{L1} \dot{I}_2 \quad (2)$$

式中, $\dot{V}_1$ 和 $\dot{I}_1$ 为下端的电压和电流, $\dot{V}_2$ 和 $\dot{I}_2$ 为 $T_2$ 端的电压和电流。

由式1和式2可求得故障点距 $T_1$ 端的距离。

$$m = \frac{(\dot{V}_1 - \dot{V}_2) / Z_{L1} + \dot{I}_2}{\dot{I}_1 + \dot{I}_2} \quad (3)$$

由式3可以实现输电线路的故障定位。

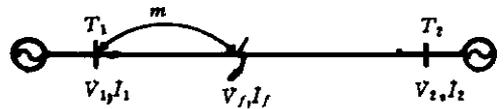


图1 双侧电源系统

## 2 三支系统的故障诊断

图2所示为三支系统,各分支线长分别为 $l_1$ 、 $l_2$ 和 $l_3$ ,单位线长的正序阻抗分别为 $Z_{L11}$ 、 $Z_{L12}$ 和 $Z_{L13}$ ,各端点的电压和电流分别为 $\dot{V}_1$ 、 $\dot{I}_1$ ;  $\dot{V}_2$ 、 $\dot{I}_2$ 和 $\dot{V}_3$ 、 $\dot{I}_3$ 。

### 2.1 故障区间的确定

设距离 $T_1$ 端 $m$ 处发生故障,如图2所示,由各端点的电压、电流和线路阻抗可以依次求出

节点  $T_0$  处电压  $\dot{V}_{01}, \dot{V}_{02}$  和  $\dot{V}_{03}$ :

$$\dot{V}_{0i} = \dot{V}_i - l_i Z_{L1i} \dot{I}_i \quad (i = 1, 2, 3)$$

再分别计算  $\dot{V}_{01}, \dot{V}_{02}$  和  $\dot{V}_{03}$  之间的差。

$$\Delta_{12} = |\dot{V}_{01} - \dot{V}_{02}|$$

$$\Delta_{23} = |\dot{V}_{02} - \dot{V}_{03}|$$

$$\Delta_{31} = |\dot{V}_{03} - \dot{V}_{01}|$$

由于第一分支发生故障, 则有:

$$\Delta_{12} > 0$$

$$\Delta_{23} = 0$$

$$\Delta_{31} > 0$$

因此, 对于三支系统可由定理 1 确定故障区间。

定理 1: 对于三支系统, 首先由式 4 分别计算出节点电压  $\dot{V}_{0i} (i = 1, 2, 3)$ , 然后再由式 5~7 计算出它们的差  $\Delta_{12}, \Delta_{23}$  和  $\Delta_{31}$ 。若差值  $\Delta_{ij}$  最小, 则故障发生在  $i, j$  以外的第三个分支。

### 2.2 故障点定位

如图 2 所示, 由定理 1 确定出第 1 分支为故障分支, 将节点  $T_0$  取为新的端点  $T_2$ ,  $T_2$  端点的电压  $\dot{V}_2$  和电流  $\dot{I}_2$  分别为:

$$\dot{V}_2 = \dot{V}_2 - l_2 Z_{L12} \dot{I}_2 \quad (\text{或} \quad \dot{V}_2 = \dot{V}_3 - l_3 Z_{L13} \dot{I}_3)$$

$$\dot{I}_2 = \dot{I}_2 + \dot{I}_3$$

因此, 将三支系统等效变换成了只具有端点  $T_1$  和  $T_2$  的无分支系统, 再应用式 3 可以计算出故障点的位置。

## 3 多分支系统的故障诊断

多分支系统进行故障诊断时, 首先将多分支系统等效变换成三支系统, 再进行诊断。

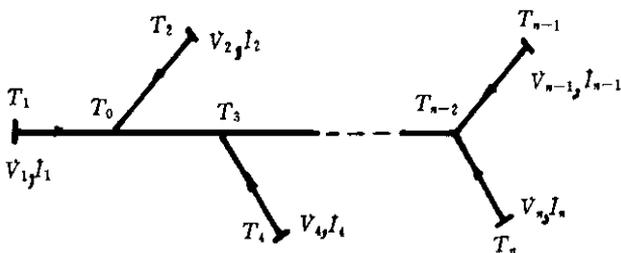


图 4 多分支系统

### 3.1 等效变换原理

定理 2: 如图 3a 所示电路, 可以简化掉  $T_1$  和  $T_2$  端点, 取节点  $T_0$  为新的端点  $T_2$ , 如图 3b 所示, 则端点  $T_2$  的电流和电压为:

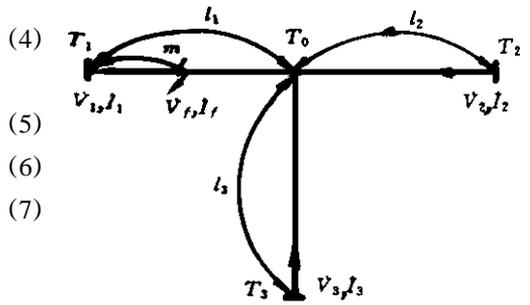
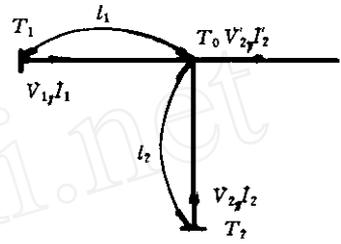


图 2 三支系统



(a)



(b)

图 3

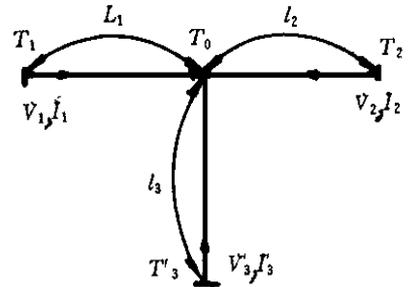


图 5 等效的三支系统

$$\dot{I}_2 = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 \quad (8)$$

$$\dot{V}_2 = \dot{V}_1 - I_1 Z_{L11} \dot{I}_1 \text{ (或 } \dot{V}_2 = \dot{V}_2 - I_2 Z_{L12} \dot{I}_2 \text{)} \quad (9)$$

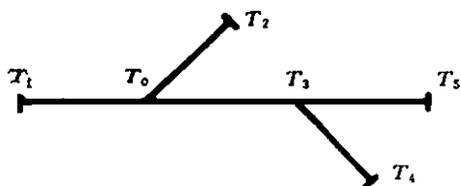


图6 五分支系统

### 3.2 多分支系统的故障诊断

图4所示为一多分支( $n \geq 4$ )系统,利用定理2进行反复变换,可得一如图5所示的等效三支系统,应用定理1判断:

- (1) 若  $\Delta_{2y}$  为最小,则故障发生在第一分支,应用2.2所述方法进行故障定位。
- (2) 若  $\Delta_{13}$  为最小,则故障发生在第二分支,应用2.2所述方法进行故障定位。
- (3) 若  $\Delta_{12}$  为最小,则故障发生在第三(等效)分支。利用定理2简化掉  $T_1$  和  $T_2$  端点,将新的多分支系统重新化为三支系统进行诊断。

## 4 数字仿真

为验证本文的故障诊断方法,以图6所示的五分支系统进行数字仿真。线路阻抗  $Z_{L1} = 19.4 + j101.3 \Omega$ ,  $Z_{L0} = 70.7 + j314.0 \Omega$ ,  $Z_{L0}$  为线路零序阻抗。

表1 各种故障情况下,电流和电压取值

故障类型	AG	BG	CG	AB, ABG; BC, BCG; CA, CAG	ABC
电压 $\dot{V}_1, \dot{V}_2$	$\dot{V}_a$	$\dot{V}_b$	$\dot{V}_c$	$\dot{V}_a - \dot{V}_b$ $\dot{V}_b - \dot{V}_c$ $\dot{V}_c - \dot{V}_a$	$\dot{V}_a, \dot{V}_b, \dot{V}_c$
电流 $\dot{I}_1, \dot{I}_2$	$\dot{I}_a + 3K \dot{I}_0$	$\dot{I}_b + 3K \dot{I}_0$	$\dot{I}_c + 3K \dot{I}_0$	$\dot{I}_a - \dot{I}_b$ $\dot{I}_b - \dot{I}_c$ $\dot{I}_c - \dot{I}_a$	$\dot{I}_a, \dot{I}_b, \dot{I}_c$

对于不同类型故障,式3中  $\dot{V}_1, \dot{I}_1$  和  $\dot{V}_2, \dot{I}_2$  有不同的表达式,如表1所示,表中  $\dot{I}_0$  为零序电流,  $K = (Z_{L0} - Z_{L1})/3Z_{L0}$ ,其诊断结果如表2所示。

表2 各种故障情况下诊断结果

分支	$T_1 - T_0$	$T_0 - T_3$	$T_3 - T_5$	$T_0 - T_2$	$T_3 - T_4$
线长(km)	8.0	5.0	2.0	4.0	6.0
故障位置	距 $T_1$ 3.0km	距 $T_0$ 4.0km	距 $T_5$ 0.5km	距 $T_2$ 2.0km	距 $T_4$ 4.0km
故障类型	AG	BG	CG	AB	ABC
诊断结果	2.93	4.08	0.51	1.96	3.95

## 结论

本文以分支电网为研究对象,提出了一种新的故障诊断方法。该方法可在线实现故障检测与诊断,经仿真证明,该方法是有用的。并且具有较高的实用价值。

### 参考文献

- 1 T. Nagasawa, M. Abe, N. Otsuzuki Development of a New Fault Location Algorithm for Multi-Terminal Two Parallel Transmission Lines IEEE Transactions on Power Delivery, Vol 7, No. 3, July 1992 P 1516 ~ 1532
- 2 胡帆,刘沛,程时杰,高压输电线路故障测距算法仿真研究 中国电机工程学报,1995.1, P67~ 72
- 3 周大敏,一种输电线路故障测距算法 继电器,1994.3, P9~ 13