

树枝型电力网短路故障的 端口比值分支定位法*

侯自立 彭兰芳

(北京邮电学院, 北京)

摘要 本文针对我国 10kV 电力网分布的特点, 提出端口比值分支定位法。解决同一地点短路故障分支的在线自动诊断。具有模型简单、计算方便、定位精度较高的特点。

关键词 电力网; 树枝型网; 故障分支定位法; 故障端口

1. 引言

由于我国树枝型 10kV 系统分布的特殊性, 目前, 电力系统诊断故障使用反射测试法^[1]和脉冲测试法^[1]均不很有效。为此, 我们从 10kV 网短路故障出发, 以实现自动诊断为目标进行了研究。本文借鉴模拟电路故障诊断理论^[2,3], 从端口方程出发, 结合字典法的概念^[4], 提出端口比值故障分支定位法。使用单代三等效模型, 通过施加音频正弦信号, 以比较传输网可测端口故障前后测试信号的变化量为根据, 来实现自动在线定位故障分支。

2. 诊断模型

根据传输线理论^[5], 三相传输网的集参单元模拟模型一般如图 1 所示。图中所有参数的选取可参阅文献[6]。

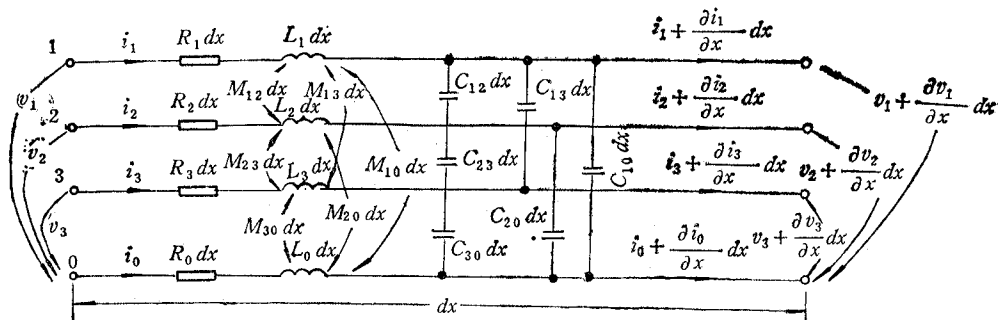


图 1 三相传输网单元模型

在对称三相电路中, 由于对称性的特点, 只要分析一相即可了解电路工作的全貌。当系统发生如单相接地等类型的不对称故障时, 就成为不对称的系统。这时, 虽然从整体上

* 1989 年 2 月 14 日收到, 1989 年 5 月 22 日修改定稿。

说,系统失去了对称的特征,但除了在故障点出现的某种不对称之外,系统的其余部份仍然是对称的. 利用对称分量法^[5,7], 仍然可以将这种不对称三相电路转化成对称三相电路. 在诊断同一地点短路故障时,建立了零序状态等值单相模型. 其单元模型如图 2 所示.

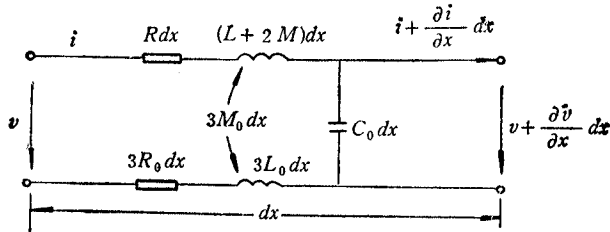


图 2 单代三单元模型

在一定的正弦测试信号下,对图 2 电路使用 KCL 和 KVL,可以列出传输线的微分方程^[4]:

$$\begin{bmatrix} \frac{d\hat{V}}{dx} \\ \frac{d\hat{I}}{dx} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & h_{12}(j\omega) \\ h_{21}(j\omega) & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{V} \\ \hat{I} \end{bmatrix} \quad (1)$$

对给定的一段网络(参数、线长 L 已定),使用幂级数展开法,可得到(1)式的离散解. 进而得到此段网络的 H 参数方程:

$$\begin{bmatrix} \hat{V}^k \\ \hat{I}^k \end{bmatrix} = \left\{ 1 + L \begin{bmatrix} 0 & h_{12}(j\omega) \\ h_{21}(j\omega) & 0 \end{bmatrix} + \frac{L^2}{2!} \begin{bmatrix} 0 & h_{12}(j\omega) \\ h_{21}(j\omega) & 0 \end{bmatrix}^2 + \dots \right\} \begin{bmatrix} \hat{V}^o \\ \hat{I}^o \end{bmatrix}$$

即

$$\begin{bmatrix} \hat{V}^k \\ \hat{I}^k \end{bmatrix} = [H] \begin{bmatrix} \hat{V}^o \\ \hat{I}^o \end{bmatrix} \quad (2)$$

(2)式中,上标 o 指网络的输入端, k 指其输出端. 根据计算的需要,通过网络参数的转换,可以求出网络的端口导纳矩阵和端口阻抗矩阵.

定义树枝型网的最长支路为主支,与主支相联的为分支,依次还有子分支等. 在建立全网模型时,将子分支以下的各支路参数全部收缩在分支中,建成只有主支与分支的等效模型. 为实现实际的诊断系统,上述方法建立的模型,大大降低了端口导纳矩阵的阶数,减小了有关的计算量,使大型网络的分析诊断成为可能.

3. 端口比值分支定位法

(1) 诊断原理 已知当线路长度小于线上信号波长的 $1/4$ 时,端口电压、电流的变化量与线路故障位置呈单调关系^[8]. 基于这个原理和字典法的概念,从端口方程出发,定义分支的端点以及分支与主支的连接点为本方法的端口,它们一般属于不可测的,只有主支的两端为两个可测端口. 当某条分支或其以下的支路发生同一地点的短路故障时,该

分支定义为故障分支。故障分支的端口称为故障端口。利用对称分量法中的零序系统, 可以将故障的在线诊断系统简化成图 3 的模型。其中, 电容 C 为耦合电容, $\dot{V}_i$ 、 R_i 和 R_0 分别为诊断设备发、收两端的等效电源和负载。当第 k 条分支发生故障时, 就在故障端口设置一个模拟故障影响的等效端口故障电流源 $\dot{I}_f$ 。 Z_{01} 、 Z_{02} 、 Z_{N1} 、 Z_{N2} 为故障端口左右线路的等效零序阻抗。1、2 两端为可测端口。

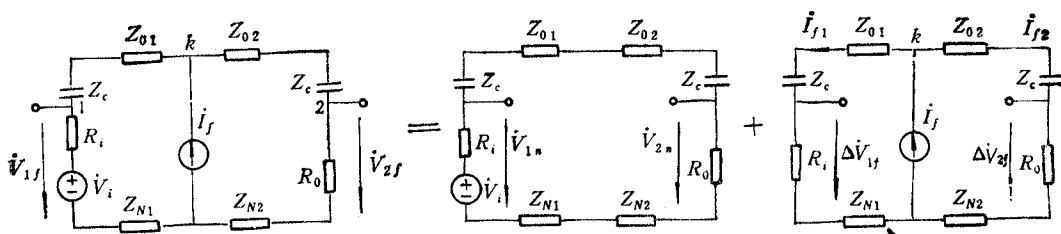


图 3 在线诊断系统的简化电路

诊断的目的是找出发生故障的故障分支, 并通过找出故障端口来实现故障分支的定位, 所以诊断对象转化为找出故障端口。

当网络正常时, $\dot{I}_f = 0$ 。设测得的端口量为: $\dot{V}_{1n} = f_1(\dot{V}_i)$ 和 $\dot{V}_{2n} = f_2(\dot{V}_i)$ 。

当网络发生故障后, $\dot{I}_f \neq 0$ 。设测得的端口量为: $\dot{V}_{1f} = f_1(\dot{V}_i) + R_i \dot{I}_{f1}$ 和 $\dot{V}_{2f} = f_2(\dot{V}_i) + R_0 \dot{I}_{f2}$ 。

故障电流源单独作用的结果为:

$$\Delta \dot{V}_{1f} = \dot{V}_{1f} - \dot{V}_{1n} = R_i \dot{I}_{f1}, \quad \Delta \dot{V}_{2f} = \dot{V}_{2f} - \dot{V}_{2n} = R_0 \dot{I}_{f2}$$

运行中的输电系统, 在同一地点发生不同类型的故障时, 虽然模拟故障的 $\dot{I}_f$ 大小不同, 但故障电流在同一故障端口左右的分配系数总是分别相同的。而不同故障端口的故障电流分配系数则各不相同。即:

$$C_{01}(X_k) = \frac{\dot{I}_{fk1}}{\dot{I}_{fk}}, \quad C_{02}(X_k) = \frac{\dot{I}_{fk2}}{\dot{I}_{fk}}$$

且 $C_{01}(X_k) + C_{02}(X_k) = 1$

式中 X_k 为故障端口距 1 端口的距离。那么

$$\frac{\Delta \dot{V}_{2f}}{\Delta \dot{V}_{1f}} = \frac{R_0 C_{02}}{R_i C_{01}} = \frac{R_0}{R_i} \left(\frac{1}{C_{01}} - 1 \right) \triangleq C(X_k) \quad (3)$$

(3)式表明, 当系统的某分支发生故障后, 其等效故障电流源的作用在系统输入与输出测量端口呈现的电压之比仅随着故障端口所在位置的不同而改变, 与 X_k 呈单调关系; 而与 $\dot{I}_f$ 的数值无关。因此, 只要对标称系统预先模拟一组故障, 得到一组 $C_n(X_k)$ 特性; 在实际诊断中, 将测得的 $C_f(X_k)$ 与 $C_n(X_k)$ 比较, 最接近者即为故障端口。进而可得到故障分支。

由于诊断对象是故障端口, 所以在测前模拟时, 只需对实际标称 10kV 系统各分支的两个端口预先算出相应的 $C_n(X_k)$ 即可。因此, 占用的计算机内存是有限的, 利于实际诊断设备的实现。

(2) 诊断举例 图 4 所示树枝型网, 在第 2 条分支(即 6—7 线段)设置单相接地故障, 取故障电阻为 $R_f = 10\Omega$. 已知测试条件为: $I_i = 1\angle 0^\circ\text{A}$ $f = 3000\text{Hz}$, $R_i = 100\Omega$, $R_0 = 100\Omega$. 由 IBM-PC 机打印结果为:

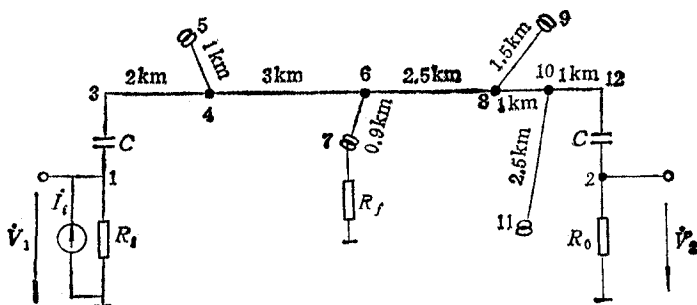


图 4 诊断实例

- 1 $E(1) = .10464860E + 01$
- 2 $E(2) = .21617080E + 01$
- 3 $E(3) = .10887790E + 01$
- 4 $E(4) = .77685300E + 00$
- 5 $E(5) = .77685270E + 00$
- 6 $E(6) = .16335570E - 05$
- 7 $E(7) = .17583410E - 05$
- 8 $E(8) = .11640670E + 01$
- 9 $E(9) = .11640680E + 01$
- 10 $E(10) = .17452450E + 01$
- 11 $E(11) = .17452450E + 01$
- 12 $E(12) = .22895420E + 01$

故障线段长度为: $.5900508E + 01$

其中 $E(k)$ ($k = 1, 2, \dots, 12$) 表示第 k 个端口的 C_f 与 C_n 差的模值。从中清楚看出, 第 6 和第 7 端口为故障端口, 即故障处于 6—7 线段上。

打印出的故障点距 1 端的距离 (5.9m) 是在定位了故障分支后, 进一步用定距算法^[9]得到的。

4. 结语

将模拟电路故障诊断理论应用于分布参数传输网故障的诊断, 作为一种有益的探索, 从建模至提出诊断方法, 已取得一定的成效^[6,8]。目前除提出了端口比值定位的有效算法外, 并已开始了实用诊断设备的硬件实现。算法的进一步改进、实际诊断系统的进一步完善和多类故障的诊断等将成为进一步研讨的方向。

参 考 文 献

- [1] B. Clegg, N.G. Lord, C. Eng, *Proc. IEE.*, 122(1975)4, 395—402.

- [2] P. Duhamel, *IEEE Trans. on CAS*, **CAS-26**(1979)7, 411—440.
- [3] Zheng. F. Huang, Ruey-Wen Liu, *IEEE Trans. on CAS*, **CAS—30**(1983)5, 253—265.
- [4] 江泽佳, 电路原理(下), 人民教育出版社, 北京, 1979 年.
- [5] P. M. 安德逊, 电力系统故障分析, 电力工业出版社 北京, 1980 年.
- [6] 谢源清等, 北京邮电学院学报, **11**(1988)3, 45—56.
- [7] 华北电力学院主编, 电力系统故障分析, 电力工业出版社, 北京, 1980 年.
- [8] 郭明等, 北京邮电学院学报, **11**(1988)4, 18—25.
- [9] 彭兰芳, 树枝型电力网短路故障诊断, 北京邮电学院硕士论文, 1989 年.

PORT RATIO BRANCH LOCATION OF SHORT FAULT FOR TREE TYPE POWER NETWORK

Hou Zili Peng Lanfang

(Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing)

Abstract The port ratio faulty branch location method presented here is aimed at the peculiarity of 10 kV power network in China. By using this method, on line automatic diagnosis of the same place short fault is solved. This method has some features: the model's simplicity; operational convenience and high location accuracy.

Key words Power network; Tree type network; Faulty branch location; Faulty port