

文章编号:1000-582X(2006)05-0128-04

一种基于 FTU 的配网故障定位矩阵单元化算法*

唐群纲,林景栋,宋 洁

(重庆大学 自动化学院,重庆 400030)

摘 要:基于配电网的结构特点和 FTU 上传的信息,生成一个包含节点邻接方式及各节点故障信息的 $N \times 4$ 阶故障电流判断矩阵 D ,然后把故障电流判断矩阵 D 分解成若干个 4×4 阶单元方阵.利用搜索思想对每个单元方阵进行搜索,得出故障区域.算例仿真结果证明了该算法的正确、有效和快速性.

关键词:配电网自动化;故障区域定位;矩阵单元化

中图分类号:TP202

文献标识码:A

目前配电网中大量使用 FTU(现场终端设备)等设备,使配电网自动化的可靠性和实用性大大地得到提高.故障定位、故障区域隔离和恢复非故障区域的供电是配电网自动化的重要组成部分,因而如何快速实现对故障的定位在配电网自动化中显得非常重要.

文献[1-2]给出了配电网故障区域定位的矩阵算法,基本思路是形成网络描述矩阵和故障信息矩阵,然后通过矩阵相乘或异或运算结果进行故障区间定位.文献[3]根据电流的连续性特点给出配电网故障区域定位的矩阵算法,不需要繁琐的矩阵相乘及规格化处理.文献[4]提出了基于配电网的变结构耗散网络模型的故障判断及隔离方法,搜索过程稍显复杂.文献[5]根据各条弧的负荷和额定负荷矩阵,计算出归一化矩阵,采取过热弧搜寻算法进行故障定位.但是这些算法共同地存在着以弧结构矩阵或弧负荷矩阵描述配电网实际运行方式,由于它们是一个 $N \times N$ 阶方阵,而且是一个稀疏矩阵,如果节点过多的话,将会导致在存储和编程方面占用大量的空间,而在进行实际判断故障是存在实时性问题.文献[6]给出配电网的简化处理并进行建模构成 $N \times 5$ 阶网基矩阵,而对于故障定位,为了进一步准确快速实时地判断,笔者采用 $N \times 4$ 阶故障电流判断矩阵,使描述网络更为简便.

基于以上问题,提出了一种故障定位优先算法,根据配电网的结构及 FTU 上报的信息生成一个 $N \times 4$ 阶故障电流判断矩阵 D ,并且把此矩阵分解成若干个

4×4 阶单元矩阵,利用搜索思想对每个单元矩阵进行搜索,从而定位故障区域.无论是单电源树状网络还是多电源网络开环运行都能够很好地进行故障定位,达到配电网优化的目的.

1 基本原理

单电源树状网络或者多电源环网开环运行情况使得每一个配电网都呈辐射状结构,且任意一条馈线呈树状结构,从而使得故障区域由 2 个节点确定:故障点和以故障点为父节点的下一个子节点.

电流的流动具有连续性,即当一个父节点的子节点流过电流时,那么此父节点肯定流过电流.根据电流这一特点可知,如果一个节点流过故障电流,而以此节点为父节点的子节点也流过故障电流,那么此节点就不是故障节点,而如果以此节点为父节点的子节点没有流过故障电流,那么此节点即为故障点,这样就可以确定故障区域为此节点及其子节点所确定的区域.

2 形成故障电流判断矩阵 D

为了定位故障区段,该故障电流判断矩阵 D 应该描述配电网拓扑结构,根据以下要求生成配电网拓扑结构.

1) 将馈线上的断路器、分段开关和联络开关当做节点进行编号,各开关之间的馈线作为连接节点的弧,并决定节点之间的弧是等长且作为两节点的距离.将

* 收稿日期:2005-12-20

基金项目:重庆大学骨干教师资助项目(0903005102035)

作者简介:唐群纲(1979-),男,湖南永州人,重庆大学硕士研究生,主要从事配电网自动化系统和配电网管理软件设计研究.

节点进行分层,把视为主电源(针对多电源环网开环运行方式而言,任意的选择一个电源作为主电源)的电源点作为最里层,然后依次把与电源点等距离的节点归为一层.编号不受开关位置的约束,可以任意地进行编号.

2)形成的网络拓扑信息与各节点上的开关状态无关,因此当开关状态发生变化后,该矩阵描述配电网网络拓扑结构的部分就不需要进行修改.

3)由于T结点和隔离设备(隔离开关、负荷开关等)处没有FTU,所以,对于T结点要进行编号,但是只是作为一个节点进行处理,而对于馈线交接处设置的特殊隔离设备(隔离开关、负荷开关等)要进行编号,而且要作为3个节点进行处理.

根据以上特点可以生成 $N \times 4$ 阶矩阵D:

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} & d_{14} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} & d_{24} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{N1} & d_{N2} & d_{N3} & d_{N4} \end{bmatrix}$$

其中:

第1列元素 d_{i1} 表示节点的故障信息,若第*i*个节点存在过电流则 $d_{i1} = 1$,否则 $d_{i1} = 0$.

第2列到第4列元素描述节点 V_i 和各节点邻接节点的序号.若节点 v_i 是节点 v_k, v_m, v_n 的内层,并且 V_i 与 V_k, V_m, V_n 都相接,则 $d_{i2} = k, d_{i3} = m, d_{i4} = n$,在空闲位置的元素填0.

3 故障判据

故障区域是由某2个节点所决定的区域,所以在判断故障区域时,就可以不针对整个故障电流矩阵D,而把故障电流矩阵D分成若干个单元矩阵,依次对每一个单元矩阵进行判断,可以避免复杂步骤而且提高实时效率.把故障电流矩阵D分成如下所述的若干个 4×4 阶单元方阵C.

第1个单元方阵 C_1 是以矩阵D的第1行作为第1行,并把与此行后3个元素相对应的3行(如果有元素的值等于零就认为对应的行的元素全是零)作为 C_1 的第2行、第3行和第4行,组成 4×4 阶矩阵.

第2个单元方阵 C_2 是以矩阵D的第2行作为第一行,并把与此行后3个元素相对应的3行(如果有元素的值等于零就认为对应的行的元素全是零)作为 C_2 的第2行、第3行和第4行,组成 4×4 阶矩阵.

...

这样对每一个单元矩阵C按照下列算法进行判断故障区域是否在该单元里:当单元矩阵C的 $C_{11} = 1$ 时,把第一列余下的3个元素与第1行的余下的3个元素分别对应相乘,若乘积的和为0则可以确定故障点为 C_{11} 所对应的节点,那么故障区域就是此节点与它的下一个子节点所决定的区域.

用数学描述如下:

1)单元矩阵C是:

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} \\ c_{41} & c_{42} & c_{43} & c_{44} \end{bmatrix};$$

2)满足 $C_{11} = 1$;

3) $C_{12}C_{21} + C_{13}C_{31} + C_{14}C_{41} = 0$.

那么故障区域就在此单元矩阵所决定的配网区域,故障区域判断出来以后,一般只需要将该区域的端点断开就可以隔离故障区域.

判断故障区域程序框图可以表示如图1.

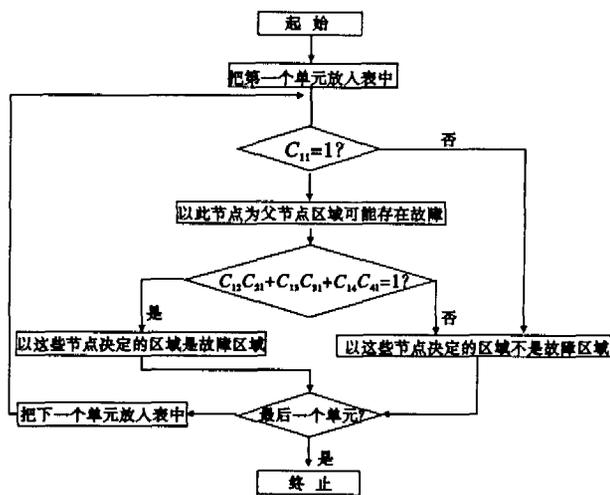


图1 区域程序框图

4 应用实例

4.1 思路与定位步骤

对于单一故障,本着只要故障区域定位出来就表示定位完成的思路,可以把故障电流矩阵D分成若干个单元矩阵,依次对每一个单元矩阵进行判断,如果在某个单元矩阵里能确定故障区域所在,那么就可以终止工作,这样就很快实现了故障定位,而且实时性也得到了提高.

图2所示为一个三电源并列运行的比较复杂的变结构耗散网络.现在假设故障区域在节点 V_2, V_3 决定

的区域,利用上述的算法来进行故障定位.根据图2可以进行以下判断定位步骤.

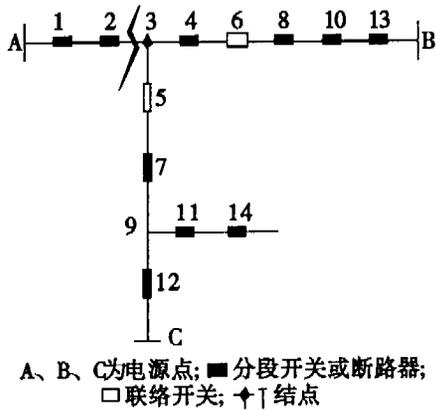


图2 三电源配电网运行模式

1) 生成故障电流判断矩阵 D

$$D = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 5 & 0 \\ 0 & 6 & 0 & 0 \\ 0 & 7 & 0 & 0 \\ 0 & 8 & 0 & 0 \\ 0 & 9 & 0 & 0 \\ 0 & 10 & 0 & 0 \\ 0 & 11 & 12 & 0 \\ 0 & 13 & 0 & 0 \\ 0 & 14 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

2) 故障区域定位

①考察第1个单元矩阵 C_1 :

$$C_1 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

由于 $C_{11} = 1$, 然而 $C_{12}C_{21} + C_{13}C_{31} + C_{14}C_{41} = 2 > 0$, 所以故障区域不在此区域.

②考察第2个单元矩阵 C_2 :

$$C_2 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 0 & 0 \\ 1 & 4 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

由于 $C_{11} = 1$, 而且 $C_{12}C_{21} + C_{13}C_{31} + C_{14}C_{41} = 0$, 所

以故障区域在 V_2, V_3 决定的区域, 由于是单一故障, 所以不再进行下去, 到此成功地判断定位了故障区域, 且与假设的故障区域完全相同.

4.2 证明过程

图3所示是一个单电源多出线树状网络, 现假设节点 V_{10}, V_{11} 之间, V_4 末端, V_7, V_8, V_9 之间同时存在3处故障, 属于多故障定位问题, 现按步骤进行判定.

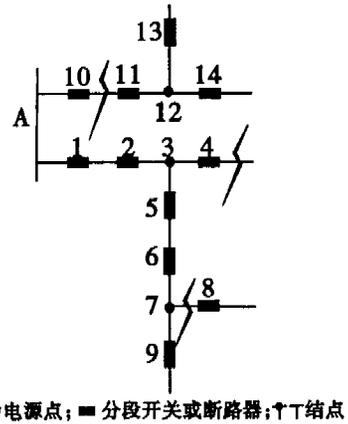


图3 单电源多出线树状网络

1) 生成故障电流判断矩阵 D

$$D = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 3 & 0 & 0 \\ 1 & 4 & 5 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 6 & 0 & 0 \\ 1 & 7 & 0 & 0 \\ 1 & 8 & 9 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 11 & 0 & 0 \\ 0 & 12 & 0 & 0 \\ 0 & 13 & 14 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

2) 故障区域定位

①很明显单元矩阵 $C_8, C_9, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}$ 的第1个元素 $C_{11} = 0$, 所以它们决定的区域不是故障区.

②现考察余下的单元矩阵

$$C_1 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, C_2 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 0 & 0 \\ 1 & 4 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$C_3 = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 5 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, C_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$C_5 = \begin{bmatrix} 1 & 6 & 0 & 0 \\ 1 & 7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, C_6 = \begin{bmatrix} 1 & 7 & 0 & 0 \\ 1 & 8 & 9 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$C_7 = \begin{bmatrix} 1 & 8 & 9 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, C_{10} = \begin{bmatrix} 1 & 11 & 0 & 0 \\ 0 & 12 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

这些单元矩阵的第1个元素 $C_{11} = 1$, 所以有可能存在故障。下面分别考察第2个条件, 单元矩阵 C_1 的 $C_{12}C_{21} + C_{13}C_{31} + C_{14}C_{41} = 2 > 0$; 单元矩阵 C_2 的 $C_{12}C_{21} + C_{13}C_{31} + C_{14}C_{41} = 3 > 0$; 单元矩阵 C_3 的 $C_{12}C_{21} + C_{13}C_{31} + C_{14}C_{41} = 9 > 0$; 单元矩阵 C_4 的 $C_{12}C_{21} + C_{13}C_{31} + C_{14}C_{41} = 0$; 单元矩阵 C_5 的 $C_{12}C_{21} + C_{13}C_{31} + C_{14}C_{41} = 6 > 0$; 单元矩阵 C_6 的 $C_{12}C_{21} + C_{13}C_{31} + C_{14}C_{41} = 7 > 0$; 单元矩阵 C_7 的 $C_{12}C_{21} + C_{13}C_{31} + C_{14}C_{41} = 0$; 单元矩阵 C_{10} 的 $C_{12}C_{21} + C_{13}C_{31} + C_{14}C_{41} = 0$ 。从而可以确定故障区域在节点 V_{10} 、 V_{11} 之间, V_4 末端, V_7 、 V_8 、 V_9 之间, 这与假设完全是一致的。

5 结 语

笔者利用分割思想把一个信息量庞大的矩阵分成若干单元矩阵, 使得判断明显地容易起来。从文中的单一故障定位举例很容易看出, 该方法对于单一故障能够快速而方便地判断故障区域。当然, 对于多故障, 利用该文阐述的方法照样可以判断, 只不过需要将分出来的每一个单元矩阵都要进行分析, 并针对多故障判断显示出了强大的优越性和实时性。

参考文献:

- [1] 刘健, 倪建立, 杜宇. 配电网故障区段判断和隔离的统一算法[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(1): 31-33.
- [2] 卫志平, 何桦, 郑玉平. 配电网故障定位的一种新算法. 电力系统自动化[J]. 2001, 25(14): 48-50.
- [3] 陈鹏, 滕欢, 滕福生. 故障信息不足时配电网故障定位的方法. 电力系统自动化[J], 2003, 27(10): 71-72.
- [4] 刘健, 程红丽, 董海鹏. 配电网故障判断与负荷均衡化. 电力系统自动化[J]. 2002, 26(22): 34-38.
- [5] 刘健. 变结构耗散网络 - 配电网自动化新算法[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2000: 31-46.
- [6] 刘健, 倪建立. 配电网自动化新技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004: 146-152.

Algorithm of Making Matrix Unit for Distribution Networks Fault Location Based on FTU

TANG Qun-gang, LIN Jing-dong, SONG Jie

(College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: The algorithm applies very much to various faults that aim to distribution networks. First, according to structure of distribution networks and information of FTU, the authors create fault electric current judgment $N \times 4$ matrix including the node abutment method and each node of the fault information, then they break down the fault electric current judgment $N \times 4$ matrix D to some 4×4 phalanx units. Searching each matrix unit gains the fault district in the searched thought. Two examples of the fault location are given, which locate fault very easily in the algorithm.

Key words: distribution automation; fault location; making matrix unit