

配电网故障区间定位的新型矩阵算法

吴薛红, 郑梅, 唐小波, 黄建新

(南京师范大学电气与电子工程学院, 210042, 南京)

[摘要] 针对配电网故障区间定位的问题, 利用配电网的结构和运行状态, 提出一种基于开关有向树型网络描述模型. 在此基础上, 结合从 FTU 得到的故障信息得到新型故障区间定位算法. 此算法无需进行矩阵的相乘和求逆运算, 因其快速性可用于在线计算, 并可推广至多电源系统中.

[关键词] 配电网, 故障定位, 故障判断矩阵

[中图分类号] TM744; TM727. 2, [文献标识码] B, [文章编号] 1672- 1292- (2003) 02- 0054- 04

0 引言

对配电网故障区域快速而准确的定位是为迅速隔离故障, 并为恢复非故障区正常工作提供必要的条件. 在城网改造中, FTU 等现场监控终端单元的运用为配电网故障定位提供了基础条件. 文献[1~ 5]给出了配电网故障定位的矩阵算法, 基本思路均为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的定位, 为防止误判还需进行规格化处理, 因而计算量大, 处理时间长.

本文从单电源辐射型配电网引入一种基于开关的有向树型网络表述模型, 结合从 FTU 得到的故障信息, 提出一种新型矩阵算法, 无需矩阵相乘, 也无需规格化处理, 判断原理简单直观.

1 数学模型的建立

1.1 有向树型网络描述模型

由于单电源辐射型配电网的特点, 在拓扑结构上可以看成一棵“树”, 电源为树根, 馈线为树枝, 体现了以分支关系确定的层次结构^[6, 7]. 对任一馈线的两端节点, 定义功率注入点为父节点, 功率流出点为子节点. 对于单电源辐射型配电网有以下特点: 对任一子节点有唯一的父节点, 而对任一父节点可以有 0 个、1 个或多个子节点.

利用有向树模型, 对馈线形成基于开关的网络描述矩阵 D . 对馈线上的开关设备(断路器, 分断开关, 联络开关等)作为节点进行编号, 而且编号无需固定规则, 可取任意顺序. 按以下规则形成该矩阵: 如果节点 i 有子节点 j , 则 $D_{ij} = 1$; 否则 $D_{ij} = 0$. 对于网络终端开关对应的节点, 因在网络中无子节点, 则该节点对应行元素全为 0.

图 1 所示为一个典型的单电源辐射型配电网的简化模型(节点顺序任意编排).

按照上述方法, 对图 1 建立的网络描述矩阵 D 为:

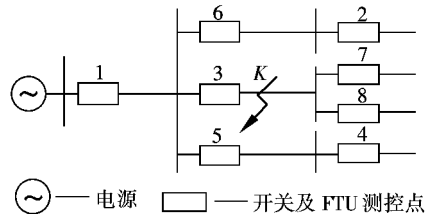


图 1 典型的单电源配电网简化模型

收稿日期: 2003- 03- 17.

基金项目: 南京师范大学青年科学基金项目(2002QYXQNBQ22)资助.

作者简介: 吴薛红, 女, 1969- , 南京师范大学电气与电子工程学院讲师, 主要从事供电系统及其自动化的教学与研究.

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

可以看出, 该网络描述矩阵是一非对称阵, 反映了网络的实时拓扑结构.

1.2 网络的故障信息矩阵

在树型辐射式网络中, 发生故障时, 根据各节点是否有故障过电流通过来得到故障信息, 从而形成网络的故障信息矩阵 F . 一个具有 n 个节点的网络对应的故障信息矩阵, 是一个 $n \times n$ 对角矩阵, 其元素形成规则如下: 若第 i 节点存在故障过电流, 则该节点对应的对角元素 $F_{ii} = 1$, 反之 $F_{ii} = 0$.

假设图 1 中以开关 3 为父节点的馈线上发生故障, 则对应的故障信息矩阵 F 为:

$$F = \text{diag}[1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0] \quad (2)$$

2 故障区间定位规则

从配电网的保护常识知道, 对单电源树型网络中有一馈线上发生单重故障时, 其父节点存在故障过电流, 而所有子节点均无故障电流. 换句话说, 如馈线上的父节点和子节点均无故障过电流, 或者父节点有故障电流, 且某一子节点也有故障电流, 则该馈线一定为非故障馈线. 基于以上思路, 引入故障区间判断矩阵 S , 定义 S 为:

$$S = D + F \quad (3)$$

因 D 矩阵对角元素全为 0, 而 F 矩阵为对角阵, 则故障判断矩阵 S 为 D 阵和 F 阵中元素的组合.

如前所假设的故障, 则:

$$S = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

由前判断规则, 故障区间对应的父节点有故障电流, 而所有的子节点均无故障电流, 引入判断规则:

$$\text{当 } S_{ii} = 1 \text{ 时, 则计算: } A_i = \sum_{j \neq i} S_{ij} \Big|_{S_{ij}=1} \quad (5)$$

如果结果 $A = 0$, 则以 i 为父节点的馈线区间为故障区间. 反之, 结果 $A \neq 0$, 则以 i 为父节点的馈线区间为非故障区间.

特殊情况: 对终端馈线上不存在子节点, 则上式不存在直接将 A 赋值为 0.

针对以上假设故障情况下, 判定如下:

$$(1) S_{11} = 1, \text{ 则 } A_1 = \sum_{j \neq 1} S_{1j} \Big|_{S_{1j}=1} = S_{33} + S_{55} + S_{66} = 1 + 0 + 0 = 1 \neq 0$$

则判定以 1 为父节点的馈线区间为非故障区间;

$$(2) S_{33} = 1, \text{ 则 } A_3 = \sum_{j \neq 3} S_{jj} \Big|_{S_{3j}=1} = S_{77} + S_{88} = 0 + 0 = 0$$

则判定以3为父节点的馈线区间为故障区间,与假设相符,判断正确.

可见,本算法简洁明了,物理意义明确,编程实现计算量小,无需矩阵相乘和其它运算,非常方便.

3 得法的拓展

由前面的论述可看出,对单电源单重故障的故障区间,可以做出准确的判断,在实际配电网中,环网供电、双电源及多电源供电的运行状态也很多,此算法在规则稍加修改的情况下也能适用.对多电源分列运行及环网的开环运行状态,可以将网络分解成多个单电源树型网络结构,直接采用上述方法进行故障区间定位.

以下讨论针对环网闭环运行或多电源并列运行的情况.

图2为一双电源供电网络(节点号任意编排).

3.1 网络描述矩阵的形成

假设图2所示网络只存在电源A(也可假设只存在电源B),参照前面双亲表示法得到网络描述矩阵D,并且定义在各馈线上由父节点指向子节点的方向为正方向.

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

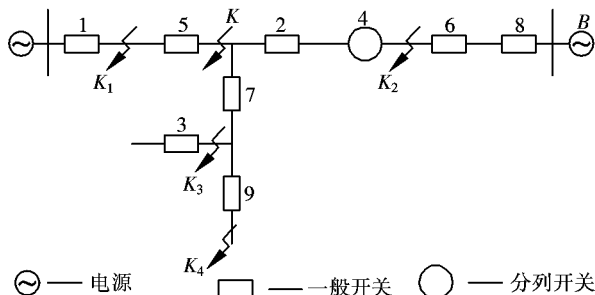


图2 典型的双电源配电网简化模型

可见D阵仍为不对称阵,反映了网络的实时拓扑结构.

3.2 网络故障信息矩阵

故障信息矩阵F仍为一对角阵,形成规则为:当节点i有正方向的故障过电源时,该节点对应的对角元素 $F_{ii} = 1$,如节点i上无故障电流,或存在与定义的正方向相反的故障电流,则 $F_{ii} = 0$.

假设故障发生在K点,即以节点5为父节点的区间上,只有节点1、5有正方向故障过电流,则 $F_{11} = 1$, $F_{55} = 1$,而节点2、4、6、8上有反方向故障过电流,节点3、7、9上无故障电流,则:

$$F = \text{diag}[1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0] \quad (7)$$

3.3 故障区间判定

由前论述,则故障区间判断矩阵S为:

$$S = D + F = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

利用上述规则判定如下:

(1) $S_{11} = 1$, 则 $A_1 = \sum_{j \neq 1} S_{1j} \Big|_{S_{1j}=1} = S_{55} = 1 \neq 0$

则判定以 1 为父节点的馈线区间为非故障区间;

(2) $S_{55} = 1$, 则 $A_5 = \sum_{j \neq 5} S_{5j} \Big|_{S_{5j}=1} = S_{22} + S_{77} = 0 + 0 = 0$

则判定以 5 为父节点的馈线区间为故障区间, 即节点 5、2、7 之间的区间为故障区间, 与假设相符, 判断正确.

图 2 中, 其它故障点的判定情况如表 1 所示.

本拓展方法同样适用于多电源并列运行的复杂系统, 在此不再赘述.

表 1 双电源系统故障模拟结果

短路点	正方向故障	负方向故障	故障区间 父节点
	过电流节点	过电流节点	
K_1	1	5、2、4、6、8	1
K_2	1、5、2、4	6、8	4
K_3	1、5、7	2、4、6、8	7
K_4	1、5、7、9	2、4、6、8	9

4 结论

本文针对配电网的结构和运行特点, 提出了基于开关的网络有向树描述模型, 结合故障信息矩阵, 提出了一种针对单电源或多电源配电网的单重故障区间能够准确判定的新算法. 该算法程序设计原理简单, 运算简便, 可以满足配电管理系统(DMS)中在线运用的要求. 本方法对双重故障也有一定的适用性, 在另文论述.

[参考文献]

[1] 刘健,倪建立,邓水辉. 配电自动化系统[M] . 北京: 中国水利电力出版社, 2001.
[2] 罗毅,丁毓山,李占柱. 配电自动化实用技术[M] . 北京: 中国电力出版社, 1999.
[3] 刘健,倪建立,杜宇. 配电网故障区段判断和隔离的统一矩阵算法[J] . 电力系统自动化, 1999, (23) : 31~ 33.
[4] 朱发国,孙德胜,姚玉斌,等. 基于现场监控终端的线路故障定位优化矩阵算法[J] . 电力系统自动化, 2000, (24) : 42~ 44.
[5] 刘伟,郭志忠. 配电网故障区间判断的新型矩阵算法[J] . 电力系统自动化, 2002, (18) : 21~ 24.
[6] 张伯明,陈寿孙. 高等电力网络分析[M] . 北京: 清华大学出版社, 1999.
[7] 严蔚敏,吴伟明. 数据结构[M] . 北京: 清华大学出版社, 1997.

A New Matrix Algorithm for Fault Section Locating in Distribution System

Wu Xuehong, Zheng Mei, Tang Xiaobo, Huang Jianxin

(College of Electrical and Electronic Engineering, Nanjing Normal University, 210042, Nanjing, PRC)

Abstract: A directional tree model based on switches is proposed for fault section locating in distribution network by using system Structure and operation status. A new matrix algorithm for fault section locating in distribution system is then built according to the model in combination with the fault information from FTU. There is no need for matrix multiplication and reversal calculations in the new algorithm, therefore the method could find its application in on-line calculation because of its high-speed character. Furthermore the method may also be extended to systems with multi-power sources.

Key words: distribution network, fault locating, fault detection matrix

[责任编辑: 严海琳]