

配电网故障区段 判断和隔离的综合矩阵法

刘耀湘¹, 乐秀璠¹, 顾欣欣²

(1. 河海大学 电气工程学院, 江苏 南京 210098;

2. 国电自动化研究院, 江苏 南京 210003)

摘要: 充分利用配电网的结构特点, 在馈线终端单元 (FTU) 装置中设置 2 种工作模式。首先, 根据网络中开关的连接关系和假定的正方向建立一个网络描述矩阵 D , 从 FTU 得到故障状态变量值构成馈线节点故障信息矩阵 G , 功率方向上相邻的 2 个故障状态变量值进行异或运算, 修正 D 中的故障信息元素, 得出故障判别矩阵 P 。依据 P 中值为 1 的元素在 P 矩阵的位置, 轻易判断出故障区段的位置。算法直观, 实时性、适用性强, 并且同时发生多处故障时同样有效。

关键词: 配电网络; 故障; 定位; 矩阵故障信息元素

中图分类号: TM 711

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2006)03-0038-03

0 引言

配电网故障区间的快速、准确定位是配电网故障隔离和恢复供电的前提和基础, 对于提高配电网供电可靠性具有重要意义^[1]。以人工智能为基础的遗传算法^[2]、神经网络和模式识别算法^[3]等, 由于计算时间长, 很难满足文献^[4]对配电网故障识别在时间上的要求。文献^[5-6]给出了配电网故障定位的矩阵算法。针对文献^[5]中数学模型的建立没有充分利用配电网的特点, 无法反映网络的实际运行方式, 最后的规格化过程较为繁琐, 且未考虑双电源或多电源的情况等不足, 文献^[7]提出了一种基于开关和双亲表示法的馈线有向描述模型。在该模型的基础上, 建立了一种故障区间判断的新型矩阵算法。但是, 这种方法需要经过 1 次矩阵的异或运算, 1 次或运算, 2 次相乘, 共计 4 次运算, 计算过程比较繁琐。文献^[8]针对文献^[5-7]需要矩阵相乘、运算量大、处理时间长, 针对文献^[5]规格化处理随着电源数的不同而不同, 每增加 1 个电源, 规格化处理需要扩展 1 次, 对多电源复杂配电网的处理较为繁琐, 同时当故障发生在分叉点后时, 也需要进行规格化处理等不足, 提出了配电网系统故障定位的改进矩阵算法。

虽然改进矩阵算法能够适用于任意多个电源, 程序设计原理简单, 不需要进行矩阵的乘法计算, 但从故障判断矩阵中仍不能直接看出故障发生的馈线区间, 且该方法对联络开关处的故障存在盲区。在仅考虑过电流就上传故障信息的方法^[5-6]中, 当遇到双侧电源供电或处于闭环运行的配电网络时, 配电中

心无法作出正确判断; 在考虑了方向性的方法^[7-10]中, 通常都要假设联络开关闭合, 这与配电网实际运行情况不符。另外, 目前的各种矩阵法^[5-10]都仅限于单一故障的情形。

本文提出的配电网故障定位综合矩阵算法是在借鉴了上述几种矩阵算法^[5-10]优点的基础上, 通过以常开型联络开关为界, 对配电网络进行区域划分, 对不同区域馈线终端单元 FTU (Feeder Terminal Unit) 的工作模式进行不同的设置, 既考虑了配电网实际运行方式又充分利用了配电网运行的特点。能够适用于任意多电源的复杂系统, 无须矩阵相乘, 也无须规格化处理, 且不存在盲区, 除了适应单一故障下的定位外, 还能在同时发生多处故障时作出判断, 而且在配电网网络重构时, 能够迅速调整 FTU 的工作模式, 适应性强, 判断原理简单、直观、实时性优越。

1 算法基本原理

在实际运行的配电网络中, 以常开型联络开关为界可以将配电网划分成 2 种基本类型的区域: 一种是双侧电源供电区域或处于闭环运行的配电网络环状区域; 另一种是单侧电源供电区域, 例如辐射状、树状网和处于开环运行的环状区域。

对于配电网络中双侧电源供电区域或处于闭环运行的配电网络环状区域, 规定功率方向, 假定电流方向为从一侧流向另一侧电源。各分段开关的 FTU 中设定 1 个反映功率方向的故障状态变量, 功率方向为正时其值为 1, 否则为 0。正常运行时, 由于电流值并不越限, 各分段开关的 FTU 并不上传数据。当电流越限时, 各分段开关的 FTU 将功率方向状态变量上传给配电管理系统中的实时库, 在配电管

理系统数据库中的计算库内功率方向上相邻的两状态变量经异或,实时更换网络描述矩阵中的矩阵故障信息元素。当故障发生在外部时,相邻两 FTU 所测功率方向相同,运算结果为 0;当故障发生在内部时,相邻两 FTU 所测功率方向相反,运算结果为 1,由此结果可判断故障发生在内部还是在外部。

对于配电网网络中单侧电源供电区域,例如辐射状、树状网和处于开环运行的环状区域,在判断故障区段时,只需根据沿着功率方向是否流过故障电流就可以判断故障区段。每个 FTU 设置一故障状态变量,电流越限时,此状态变量为 1,否则为 0。当故障发生时,FTU 主动把故障状态变量 1 上传并计算功率方向相邻两状态变量经异或的结果,若为 1,则可以得出为内部故障;若为 0,可以判断出为外部故障。

采用上述方法后,可将 FTU 设置成 0 或 1 工作模式。在 0 模式下,FTU 只有在电流越限且功率方向为正时,上传故障状态变量;在 1 模式下,FTU 只要电流越限,就上传故障状态变量。以常开型联络开关为分界点对配电网进行区域划分,在双侧电源供电区域或处于闭环运行的配电网环状区域,线路上的 FTU 设置成 0 工作模式;在单侧电源供电区域,例如辐射状、树状网和处于开环运行的环状网,则线路上的 FTU 设置成 1 工作模式。工作模式可由控制中心进行远方修改或由工作人员现场修改,以适应故障隔离后网络结构重构时,相应 FTU 工作模式的改变。

为使算法同样能适用于任意多个电源,本算法基于文献[8]在对网络拓扑描述时考虑了方向性。首先,生成描述配电网拓扑结构的网络描述矩阵 D 。当发生故障时,根据配电管理系统数据库中计算库计算的结果,修正 D 矩阵中元素为 1 的值,修正后含故障信息的矩阵设为 P 。最后,根据 P 矩阵中是否有为 1 的元素,并根据该元素在矩阵中位置判断故障区间。

1.1 网络描述矩阵

如图 1 所示,假定供电电源为 A(也可假定为 B 或 C),节点编号顺序有意打乱。图中,A,B,C 为电源点;•为测控点;□为联络开关;■为馈线首端 FCB;箭头所示方向为假定正方向。

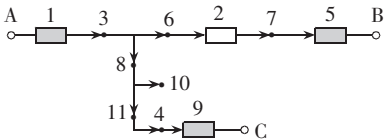


图 1 3 电源供电模式
Fig.1 Operation mode of three
-source distribution network

根据图 1,网络描述矩阵 D 如下所示。称 D 中值为 1 的元素为矩阵故障信息元素,为 0 的元素为矩阵非故障信息元素。只需修正矩阵故障信息元素,而非故障信息元素不变。

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

1.2 馈线节点故障信息矩阵

由图 1 知道,以常开型联络开关 2 为界,配电网划分为 2 部分。根据工作模式设置原则,1,3,8,11,4,9 FTU 的工作模式为 0;2,7,5,6,10 FTU 工作模式为 1。当 1,3,8,11,4,9 节点流过故障电流并且方向与网络正方向相同,则 FTU 向控制中心上传信号 1;而 2,7,5,6,10 节点在功率方向流过故障电流时,FTU 就向控制中心上传信号 1。

假定图 1 馈线在节点 1,3 之间出现单重故障,与其对应的馈线节点故障信息矩阵如下:

$$G = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$$

1.3 故障判断矩阵

通过馈线节点故障信息矩阵中功率方向上相邻的 2 个节点进行异或运算求得的结果修正网络描述矩阵 D 中相应矩阵故障信息元素,修正后的矩阵为故障判断矩阵,即用 $d_{ij} = g_i \text{ XOR } g_j$ (i 和 j 为功率方向上相邻的 2 个节点)修正 D 中的 d_{ij} 。通过观察故障判断矩阵中值为 1 的元素在矩阵中的位置即可判断出故障所处区段,结果简单明了。

因为 $d_{13}, d_{27}, d_{36}, d_{38}, d_{49}, d_{62}, d_{75}, d_{8,10}, d_{8,11}, d_{11,4}$ 中的元素为 1,所以结合馈线节点故障信息矩阵修正这些元素值。 $d_{13} = g_1 \text{ XOR } g_3 = 1, d_{36}, d_{38}, d_{49}, d_{62}, d_{75}, d_{8,10}, d_{8,11}, d_{11,4}$ 修正后全部为 0,则故障判断矩阵为

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

考察值为 1 的元素所处位置为第 1 行第 3 列,所以故障在节点 1 和 3 之间。

2 算法适应性

在文献[5]中,当遇到故障发生在分叉点后时(在图 1 中,若故障发生在节点 8,10,11 之间),就需

要进行规格化处理,以免将故障误判在分叉点之间(即在节点3,6,8之间);在文献[8]中,若故障发生在联络开关处就存在盲区。利用这种算法上述2种情况都不会出现。而且在本算法中,上述2种故障同时发生时也能准确判断出故障发生的区间。

如图1所示,故障发生在节点8,10,11之间和节点2,7之间时,矩阵 D 不变,矩阵 G 变为

$$G=[1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]$$

对 D 中 $d_{13}, d_{27}, d_{36}, d_{38}, d_{49}, d_{62}, d_{75}, d_{8,10}, d_{8,11}, d_{11,4}$ 元素进行修正:

$$d_{13}=g_1 \text{ XOR } g_3=0 \quad d_{27}=g_1 \text{ XOR } g_3=1$$

$$d_{36}=g_3 \text{ XOR } g_6=1 \quad d_{38}=g_3 \text{ XOR } g_8=0$$

$$d_{49}=g_4 \text{ XOR } g_9=0 \quad d_{62}=g_6 \text{ XOR } g_2=0$$

$$d_{75}=g_7 \text{ XOR } g_5=0 \quad d_{8,10}=g_8 \text{ XOR } g_{10}=1$$

$$d_{8,11}=g_8 \text{ XOR } g_{11}=1 \quad d_{11,4}=g_{11} \text{ XOR } g_4=0$$

对 D 修正后,故障信息矩阵为

$$P=\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

考察 P 矩阵知, $d_{27}, d_{36}, d_{8,10}, d_{8,11}$ 为1,因此故障应该在元素确定的区段内。因为若故障发生在节点3,6,8之间, d_{36}, d_{38} 应都等于1,现在只有 d_{36} 等于1,所以故障不在节点3,6,8之间,从而可以肯定同时发生了2个故障,并且2个故障分别发生在节点2,7确定的区段以及节点8,10,11确定的区段。

3 结语

本算法不仅仅只局限于单一故障下的故障定位,对于在复杂配电网中各个区域同时有故障发生的多处故障情况同样适应。而且本算法利用配电管理系统数据库中实时库和计算库之间的关联,根据实时库中的信息实时更新网络描述矩阵中的故障信息元素,节省了故障判断与隔离的时间。当配电网发生故障时,根据故障判断矩阵中值为1的元素在矩阵中的位置就能直接判断出故障的位置,非常直观,可适用于单电源树状网和多电源复杂配电网。

参考文献:

- [1] 刘键,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.
- [2] 卫志农,何桦,郑玉平. 配电网故障区间定位的高级遗传算法[J]. 中国电机工程学报,2002,22(4):127-130.

WEI Zhi-nong, HE Hua, ZHENG Yu-ping. A refined genetic algorithm for the fault sections location[J]. **Proceedings of the CSEE**, 2002, 22(4): 127-130.

- [3] 费军,单渊达. 配电网自动故障定位系统的研究[J]. 中国电机工程学报,2000,20(9):32-35.
FEI Jun, SHAN Yuan-da. Study of automatic fault location system in the distribution network[J]. **Proceedings of the CSEE**, 2000, 20(9): 32-35.
- [4] 电力工业部电力科学研究院. DL/T 721-2000 配电网自动化系统远方终端[S]. 北京:电力工业出版社,1997.
- [5] 刘键,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(1):31-33.
LIU Jian, NI Jian-li, DU Yu. A unified matrix algorithm for fault section detection and isolation in distribution system[J]. **Automation of Electric Power Systems**, 1999, 23(1): 31-33.
- [6] 周羽生,周有庆,戴正志. 基于FTU的配电网故障区段判断算法[J]. 电力自动化设备,2000,20(4):25-27.
ZHOU Yu-sheng, ZHOU You-qing, DAI Zheng-zhi. Algorithm for fault section judgement in power distribution network based on FTU[J]. **Electric Power Automation Equipment**, 2000, 20(4): 25-27.
- [7] 刘伟,郭志中. 配电网故障区间定位的新型矩阵算法[J]. 电力系统自动化,2002,26(18):21-24.
LIU Wei, GUO Zhi-zhong. A new matrix algorithm for fault section in distribution system[J]. **Automation of Electric Power Systems**, 2002, 26(18): 21-24.
- [8] 卫志农,何桦,郑玉平. 配电网故障区间定位的一种新算法[J]. 电力系统自动化,2001,25(14):48-50.
WEI Zhi-nong, HE Hua, ZHENG Yu-ping. A novel algorithm for fault location in power distribution[J]. **Automation of Electric Power Systems**, 2001, 25(14): 48-50.
- [9] 夏雨,姚月娥,刘全志,等. 配电网故障定位与隔离的新统一矩阵法[J]. 高电压技术,2002,28(3):4-6.
XIA Yu, YAO Yue-e, LIU Quan-zhi. A new general matrix arithmetic on the location and isolation of the fault section in power distribution network[J]. **High Voltage Engineering**, 2002, 28(3): 4-6.
- [10] 徐青山,唐国庆,张欣. 计及容错的配电网故障定位新算法[J]. 电力自动化设备,2005,25(6):31-33.
XU Qing-shan, TANG Guo-qing, ZHANG Xin. Error tolerated fault locating algorithm of power distribution network[J]. **Electric Power Automation Equipment**, 2005, 25(6): 31-33.

(责任编辑:李育燕)

作者简介:

刘耀湘(1979-),男,湖南湘潭人,硕士研究生,研究方向为配电网自动化和电力系统监控(E-mail:liu971706@tom.com);

乐秀璠(1952-),男,上海人,副教授,研究方向为电力系统监控和继电保护;

顾欣欣(1952-),女,江苏江阴人,总工程师,高级工程师,长期从事配电网自动化和继电保护的科研和生产工作。

Synthesis matrix algorithm for fault section detection and isolation in distribution system

LIU Yao-xiang¹, LE Xiu-fan¹, GU Xin-xin²

(1. Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Nanjing Automation
Research Institute, Nanjing 210003, China)

Abstract: A synthesis matrix algorithm for fault section detection and isolation in distribution system is presented, which makes full use of system's structural characteristics and sets two kinds of work patterns in FTU. The algorithm forms a network description matrix $\mathbf{D}$ on basis of the connections of switches and power flow directions between two adjacent switches. The fault state variables from FTU are used to form a fault information matrix $\mathbf{G}$ for feeder node. The XOR operations of two neighboring fault state variables in power direction revise fault information variables in matrix $\mathbf{D}$ to get fault judgment matrix $\mathbf{P}$. According to the location of the variable, which is equal to 1, in matrix $\mathbf{P}$, the fault section can be identified immediately and correctly. The synthesis matrix algorithm is direct, real-time and applicable, and works properly for multi simultaneous faults too.

Key words: distribution system; fault; locating; matrix fault information variable