

配电网故障区间判断的通用矩阵算法

马强, 张利民, 刘皓明

(河海大学电气工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 根据配电网的各种故障情况提出了一种分区分层判断故障的通用矩阵算法。首先采用分区的思想以常开型联络开关为界将配电网分成许多小区, 根据故障信息粗略判断出发生故障的小区。充分利用配电网的结构特点, 在馈线终端单元(FTU)装置中设置三种工作模式。针对发生故障的小区形成网络描述矩阵, 根据不同工作模式下的故障信息对网络描述矩阵进行修正形成故障判断矩阵, 根据故障判断矩阵中的元素特征就可判断故障发生区间。此算法能够解决像馈线末端故障、环网故障、多电源环网多重故障这些在其它算法中不能全部解决的问题, 而且计算量小。

关键词: 配电网; 馈线自动化; 故障定位; 故障小区; 故障判断矩阵

General matrix algorithm for fault section detection in distribution system

MA Qiang, ZHANG Li-min, LIU Hao-ming

(Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: A general matrix algorithm which can judge the fault separately is presented according to all the fault conditions. At first, this algorithm divides the distribution network into many small areas by open switch, and finds out the small area generally that has fault according to the fault information. It makes full use of system's structural characteristics to set three kinds of work patterns in FTU. It forms a network description matrix of the fault area on the basis of fault information which is from different work model, changes the description matrix and obtains a fault judgment matrix, finds out the concrete point that is fault according to the fault judge matrix. This algorithm can solve the problems of feeder terminal fault, circle net fault and multi source multi fault, all of which can not be solved in other algorithm completely, and has small amount of calculation.

Key words: distribution network; feeder automation; fault location; small fault area; fault judge matrix

中图分类号: TM72 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)05-0014-04

0 引言

对配电网故障进行准确诊断和定位、迅速隔离故障并恢复非故障区域供电是馈线自动化的主要功能。随着城乡电网改造及其 DAS 的普遍开展, 配网中大量使用 FTU 等现场监控终端, 在断路器、分段开关和联络开关上一般都装有 FTU 用来采集线路信息从而上传给控制中心, 同时接收控制中心指令操纵断路器、分段开关和联络开关动作, 为迅速、准确地实现馈线自动化功能奠定了基础。随着分布式发电技术的发展, 我国配电网运行方式已不再是单一的单电源辐射状网络。为了适应配电网这一发展需求, 已有文献利用过热弧搜索^[1], 优化算法^[2]以及矩阵算法等方法对多电源并列供电配电网进行故障定位。其中, 矩阵算法因其简明直观、计算量小等特点, 应用更为广泛。

文献[3]的统一矩阵算法需要矩阵相乘和进行

大量规格化处理, 只适合单电源树状网络, 不能判断馈线末端故障。文献[4]的简单矩阵算法不需要进行大量的规格化处理, 但也不能判断馈线末端故障。文献[5]对文献[3]进行了改进, 克服了不能判断馈线末端故障的弊端。但是文献[3~5]都不适用于环状运行网络。文献[6]也不适合馈线末端故障, 且需要矩阵相乘和规格化处理, 计算速度慢。文献[7]和文献[8]的算法不适用于馈线末端故障。文献[9]和[10]能解决馈线末端故障问题, 但它们和文献[8]一样在解决同一环网上的多重故障问题时会产生漏判现象, 比如判断图 2 的故障情况时就只能判断出一个故障, 而漏掉另外两个故障。以上对故障定位所作的大量研究所得到的方法都存在着某种缺陷, 所以本文在以上各算法的优缺点的基础上提出一种通用的矩阵算法, 可以解决各种类型的故障问题。方法简单、直观, 有较强的实用性。

1 通用算法的原理

1.1 概述

由于配电网网络庞大, 结构复杂, 如果把整个配电网看作一个整体来进行故障定位, 其工作量很大, 所以这里采用分区分层的办法。首先以常开型联络开关为分界点把配电网分成许多小区。然后把各个小区内的断路器, 分段开关和常闭型联络开关当作节点进行编号, 节点编号必须包含节点的属性即节点属于哪个小区, 这样当网络发生故障时就可以根据上传故障信息的 FTU 的编号很快判断出发生故障的小区, 然后就可以只对故障小区的配网进行研究, 而不考虑其它网络, 这样大大缩小了网络的规模, 加快计算速度。确定故障小区后, 对小区内的馈线规定一个正方向, 按照节点之间的有向连接关系形成网络描述矩阵。然后再根据 FTU 上传的故障信息对网络描述矩阵进行修正形成故障判断矩阵。无须对故障判断矩阵进行规格化处理就可以直接判断故障发生的位置。

1.2 形成网络描述矩阵 D

首先给故障小区网络假定一个正方向, 正方向的制定原则是: 对于单电源网络, 线路功率的流出方向即为馈线的正方向; 对于多电源网络, 先假定该网络由某一个电源供电, 由这个电源向全网供电的功率流出方向即为网络的正方向。然后根据各节点的编号和节点之间的有向连接关系构造网络描述矩阵 D 。若节点 i 和节点 j 之间存在一条馈线且该馈线的正方向是由节点 i 指向节点 j , 则对应的网络描述矩阵 D 中的元素 $d_{ij}=1$, 而 $d_{ji}=-1$, 第 i 行的其它元素置 0。

1.3 生成故障判断矩阵 P

参考文献[6], 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 1、-1 和 0 三种工作模式。在 1 模式下, 节点 i 流过故障电流且过流方向和所选网络正方向相同, 节点 i 的 FTU 向控制中心发送故障信息 1; 在 -1 模式下, 节点 i 流过故障电流但过流方向和所选网络正方向相反, 节点 i 的 FTU 向控制中心发送故障信息 -1; 在 0 模式下, 节点 i 没有故障电流, 节点 i 的 FTU 不向控制中心发送故障信息。节点 i 的 FTU 处于工作模式 1 时, 置矩阵 D 中的元素 d_{ii} 为 1; 处于工作模式 -1 时置矩阵 D 中对应元素 d_{ii} 为 -1; 处于工作模式 0 时置矩阵 D 中对应元素 d_{ii} 为 0。这样便可生成故障判断矩阵 P 。

1.4 故障诊断原则

由故障判断矩阵就可以判断出故障区段, 其具体的判断原则如下:

(1) 当配电网的故障发生在节点 i 和节点 j 之间时, 其判别条件有两条。条件一: $p_{ii}=1$, 对所有 $p_{ij}=1$ 的 j ($j \neq i$), 都有 $p_{jj}=0$ 或 -1。条件二: $p_{ii}=-1$, 对所有 $p_{ij}=-1$ 的 j ($j \neq i$), 都有 $p_{jj}=0$ 。满足上述条件中的任一条就可以判断节点 i 和节点 j 之间发生了故障。

(2) 当故障发生在末端 i 时, 其判别条件是: $p_{ii}=1$, 对于所有的 p_{ij} ($j \neq i$), 都不等于 1。末端故障定位原理的物理意义是: 当某点 i 流过故障电流, 且若以这点为起点并不存在其它连接到该点上的点 (如存在, 则 $d_{ij}=1$ ($j \neq i$)), 那么末端 i 必然发生故障。

2 算例分析

2.1 简单网络

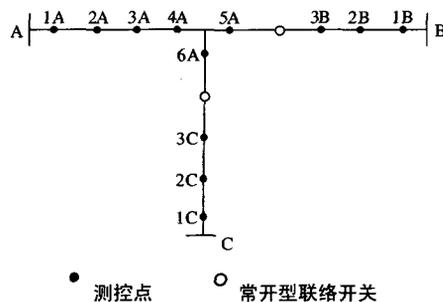


图 1 三电源供电开环运行网络

Fig.1 Open circle running network with three sources

如图 1 所示为一个有 A、B 和 C 三电源供电的网络, 它们之间由常开型联络开关相连, 形成开环运行。首先以常开型联络开关为分界点把此配电网分成 A 区, B 区和 C 区。分别对每个小区的节点 (测控点) 进行编号, 如图所示, 节点编号包含有自己的小区属性, 例如 2A 就表示此节点是 A 区的 2 号节点。当网络发生故障时, 一些测控点会向控制中心上传故障信息, 控制中心通过这些上传故障信息的测控点的编号就可以判断出发生故障的小区。假设现在控制中心得到的故障信息来自 B 区, 那么首先确定是 B 区发生了故障, 然后就只对 B 区的三个节点进行分析, 而不去考虑 A 区和 C 区, 这样需要分析的节点只有三个, 形成的网络矩阵和判断矩阵也都只是 3×3 的矩阵, 矩阵规模小, 运算量很小。如果不进行分区, 对整个网络的节点进行分析, 则需要分析 14

个节点(包括常开型联络开关),形成 14×14 的矩阵,矩阵规模很大,计算速度慢。所以首先对配网进行分区对快速故障定位起了重大作用。

判断出是 B 区发生故障后,对 B 区网络规定一个正方向,以电源 B 进行供电时功率的流出方向为网络的正方向,然后形成 B 区的网络描述矩阵

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

如果是节点 2B 和 3B 之间发生故障,那么节点 1B 和 2B 的 FTU 处于 1 工作模式,根据故障信息对网络描述矩阵 D 进行修正,令 d_{11} 和 d_{22} 都等于 1,这样得到的故障判断矩阵为

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

观察矩阵 P 的元素: $p_{22}=1$ 、 $p_{23}=1$ 、 $p_{33}=0$,根据故障判断原则(1),可判断是节点 2B 和 3B 之间发生了故障,判断准确。

如果是节点 3B 和与其相连的常开型联络开关之间发生故障,此种情况为馈线末端发生故障,那么节点 1B、2B 和 3B 的 FTU 处于 1 工作模式,根据故障信息对网络描述矩阵 D 进行修正,令 d_{11} 、 d_{22} 和 d_{33} 都等于 1,这样得到的故障判断矩阵为

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

观察矩阵 P 的元素: $p_{33}=1$,对于所有的 p_{3j} ($j \neq 3$) 都不等于 1,根据判断原则(2),可以判断出故障发生在 3B 末端,判断准确。

2.2 复杂网络

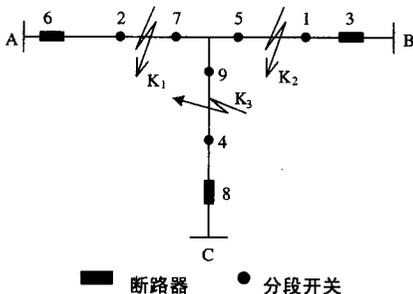


图 2 三电源并列供电网络

Fig.2 Operation mode of three-source power supply distribution network

图 2 为三电源并列供电模式下发生三重故障的配电网络,为了不失一般性,图中有意打乱了编号顺序。设故障点为 K_1 、 K_2 、 K_3 。

首先此网络中没有常开型联络开关,所以可以不用再分区,把此网络看成一个整体进行分析。此网络属于多电源闭环供电网络,假设由电源 A 向全网供电,则功率流出的方向即为网络的正方向。按照图中的编号,根据节点间的有向连接关系形成网络描述矩阵为

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

然后根据故障信息来修正网络描述矩阵形成故障判断矩阵。此时网络中节点 6 和 2 的 FTU 处于 1 工作模式,则令 $d_{22}=1$ 、 $d_{66}=1$ 。节点 1、3、4 和 8 的 FTU 处于 -1 工作模式,则令 $d_{11}=-1$ 、 $d_{33}=-1$ 、 $d_{44}=-1$ 、 $d_{88}=-1$ 。最后得故障判断矩阵为

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

观察矩阵 P 中元素可知有三组元素: $p_{22}=1$ 、 $p_{27}=1$ 、 $p_{77}=0$ 、 $p_{11}=-1$ 、 $p_{15}=-1$ 、 $p_{55}=0$ 和 $p_{44}=-1$ 、 $p_{49}=-1$ 、 $p_{99}=0$ 满足判定原则 1,所以可知节点 2 和 7 之间,1 和 5 之间,还有 4 和 9 之间发生了故障,即判断出了三个故障点 K_1 、 K_2 和 K_3 ,没有产生漏判现象。

3 结论

本文针对原有矩阵算法在配电网故障定位应用中存在的各种不足,提出了一种通用矩阵算法。该

算法不仅适用于树状、辐射状网络和开环运行环状网络故障, 还适用于环状运行网络故障, 而且不仅能解决单电源单一故障问题, 还能解决馈线末端故障问题和多电源环网多重故障问题。本算法采用先对配电网进行分区思想使故障定位更为迅速, 而且此方法的判断原理简单, 不需要矩阵相乘也不需要烦琐的规格化处理, 运算量小, 运算速度快, 对配电网运行工况的变化有很强的适应性。

参考文献

- [1] 江道灼, 张锋, 张怡. 基于配电监控终端的配网故障区域判断和隔离[J]. 继电器, 2002, 30(9): 21-24.
JIANG Dao-zhuo, ZHANG Feng, ZHANG Yi. Fault Sections Detection and Isolation in Distribution System Based on FTU[J]. Relay, 2002, 30(9):21-24.
- [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] 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(1): 31-33.
LIU Jian, NI Jian-li, DU Yu. An Unified Matrix Algorithm for Fault Section Detection and Isolation in Distribution System[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(1):31-33.
- [4] 黄力. 配电网故障定位的简单矩阵算法[J]. 湖北电力, 2005, 29(5):1-3.
HUANG Li. A Simple Matrix Algorithm for Fault Detection in Distribution System[J]. Hubei Electricity, 2005, 29(5):1-3.
- [5] 刘会家, 王峥, 陈玮. 配电网故障定位统一矩阵算法的改进[J]. 三峡大学学报, 2002, 24(4): 308-310.
LIU Hui-jia, WANG Zheng, CHEN Wei. To Improve Unified Matrix Algorithm for Fault Detection in Distribution System[J]. Journal of Three Gorges University, 2002, 24(4):308-310.
- [6] 刘耀湘, 乐秀璠, 顾欣欣. 配电网故障区段判断和隔离的综合矩阵算法[J]. 电力自动化设备, 2006, 26(3): 38-40.
LIU Yao-xiang, LE Xiu-fan, GU Xin-xin. Synthesis Matrix Algorithm for Fault Section Detection and Isolation in Distribution System[J]. Electric Power Automation Equipment, 2006, 26(3):38-40.
- [7] 王飞, 孙莹. 配电网故障定位的改进矩阵算法[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(24): 45-46, 49.
WANG Fei, SUN Ying. An Improved Matrix Algorithm for Fault Location in Distribution Network of Power Systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(24): 45-46, 49.
- [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] 蒋秀洁, 熊信银, 吴耀武, 等. 改进矩阵算法及其在配电网故障定位中的应用[J]. 电网技术, 2004, 28(19): 60-63.
JIANG Xiu-jie, XIONG Xin-yin, WU Yao-wu, et al. Improved Matrix Algorithm and Its Application in Fault Location of Distribution Network[J]. Power System Technology, 2004, 28(19): 60-63.
- [10] 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算法[J]. 高电压技术, 2002, 28(3): 4-6.
XIA Yu, YAO Yue-e, LIU Quan-zhi, et al. 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.

收稿日期: 2008-04-29; 修回日期: 2008-08-31

作者简介:

马强(1981-), 男, 硕士研究生, 研究方向为配电网自动化; E-mail:mq324@163.com

张利民(1958-), 男, 高级工程师, 硕士生导师, 长期从事配电网的科研和生产管理工作;

刘皓明(1977-), 男, 博士, 副教授, 研究方向为电力系统自动化, 电力市场, 电力系统稳定与控制。