

配电网故障区间判断的改进型矩阵算法

余畅¹, 刘皓明²

(1. 中国南方电网电力调度通信中心, 广州 510623; 2. 河海大学电气工程学院, 南京 210098)

摘要: 在馈线终端单元 (FTU) 装置中设置三种工作模式, 在此基础上提出一种分区判断故障的改进型矩阵算法。首先采用分区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。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。仿真结果表明此算法判断正确, 没有产生漏判现象。

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

Improved Matrix Algorithm for Fault Section Detection in Distribution System

YU Chang¹, LIU Haoming²

(1. CSG Power Dispatching and Communication Center, Guangzhou 510623, China;

2. College of Electric Engineering, Hehai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: An improved matrix algorithm is presented for fault section detection based on three kinds of work patterns in FTU. The distribution network is first divided into many small areas by open switch, and then the small area which has fault can be roughly detected according to the fault information. A network description matrix of the fault area is formed and corrected based on the fault information from different work patterns. Finally a fault judgment matrix can be obtained, from which the exact fault section can be detected. The proposed algorithm is computationally efficient and capable of detecting feeder terminal fault, circle net fault as well as multi source multi fault, which can not be solved simultaneously in other algorithms.

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

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数据采集系统 (DAS) 的普遍开展, 配网中大量使用馈线终端单元 (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[8]能解决馈线末端故障问题, 但它们在解决同一环网上的多重故障问题时会产生漏判现象。以上对故障定位所作的大量研究中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改进的矩阵算法, 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 通用矩阵算法的基本原理

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判断的办法。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, 而不考虑其他网络, 这样大大缩小了网络的规模, 加快计算速度。

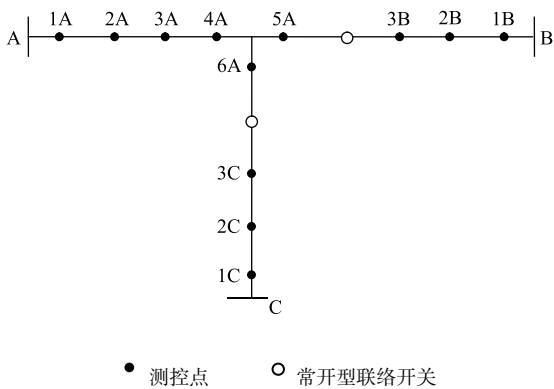


图 1 三电源供电开环运行网络

Fig.1 Open Circle Running Network with Three Sources

如图 1 所示的三电源供电开环运行网络, 以联络开关为分界点网络被分为 3 个小区 A 区 (包括节点 1A、2A、3A、4A、5A 和 6A)、B 区 (包括节点 1B、2B 和 3B) 和 C 区 (包括节点 1C、2C 和 3C)。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 区进行分析, 而不去考虑 A 区和 C 区,

确定 B 区发生故障后, 生成描述 B 区配电网拓扑结构的网络描述矩阵 D 。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 P 。无须对 P 进行规格化处理就可以直接根据 P 判断故障发生的区间。

1.1 形成网络描述矩阵 D

首先给 B 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 行的其他元素置 0。那么 B 区的网络描述矩阵 D 为

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

1.2 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 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, 此时置矩阵 D 中的元素 d_{ii} 为 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, 此时置矩阵 D 中对应元素 d_{ii} 为 -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, 此时置矩阵 D 中对应元素 d_{ii} 为 0。

网络描述矩阵经过上述修正后即可得到故障判断矩阵 P 。

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 B 区网络描述矩阵 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

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

1.3 判断原理

P 即为故障判断矩阵。判断故障区间的原则如下:

(1) 当 $P_{ii}=1$, 对应第 i 行只有一个 $P_{ij}=1 (j \neq i)$ 时, 如果对应 $P_{ij}=1$ 中的 j 有 $P_{jj}=0$ 或 -1, 那么故障发生在节点 i 和 j 之间。

(2) 当 $P_{ii}=-1$, 对应第 i 行只有一个 $P_{ij}=-1 (j \neq i)$ 时, 如果对应 $P_{ij}=-1$ 中的 j 有 $P_{jj}=0$, 那么故障发生在节点 i 和 j 之间。

(3) 当 $P_{ii}=1$, 对应第 i 行有两个或两个以上的 $P_{ij}=1 (j \neq i)$ 时, 如果对应所有 $P_{ij}=1$ 中的 j 都不存在 $P_{jj}=1$, 那么故障发生在节点 i 与全部的节点 j 所包围的区域。

(4) 当 $P_{ii}=-1$, 对应第 i 行有两个或两个以上的 $P_{ij}=1 (j \neq i)$ 时, 如果对应所有 $P_{ij}=-1$ 中的 j 都不存在 $P_{jj}=-1$, 那么故障发生在节点 i 与全部的节点 j

所包围的区域。

(5) 如果 $p_{ii}=1$, 对应第 i 行的所有 $P_{ij} (j \neq i)$ 都不等于 1, 那么故障发生在节点 i 的末端。

观察 1.2 节中矩阵 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 (5), 可以判断出故障发生在 3B 末端, 判断准确。

2 算例分析

如图 2 为一个三电源配电网, 共有 29 个常闭开关节点。网络可以分为两个小区, 节点 1、4、5、18、19、24、25 组成小区一, 其余节点组成小区二。

(1) 小区一的故障判断

假设节点 18 和 24 之间故障, 此时控制中心收到的故障信息来自小区一, 所以首先判断出故障发生在小区一。此时只须对小区一进行分析而不考虑小区二。编写程序对小区一进行仿真计算, 首先生

成网络描述矩阵 D , 然后考察 FTU 的工作模式, 只有节点 1、4、18 处于 1 工作模式上传故障信息 1, 其余节点都处于 0 工作模式不发送故障信息, 根据故障信息对 D 进行修正生成 P , 根据判断原则由 P 可判断出故障区间。仿真结果得到故障矩阵 $P_f=[18 \ 24]$ (故障矩阵的行数表示故障个数, 每一行的节点表示此故障位于这些节点所包围的区域), 由此可知故障发生在节点 18 和 24 之间, 判断正确。

假设故障发生在节点 24 的末端, 此时网络描述矩阵还是 D , 但 FTU 的工作模式有变化, 节点 1、4、18、24 处于 1 工作模式, 其他节点都处于 0 工作模式。最后仿真计算得到 $P_f=[24]$, 由此可知故障发生在节点 24 末端, 判断正确。

(2) 小区二的故障判断

假设节点 2、9、10 之间发生故障, 此种故障情况属于双电源环网故障。首先判断出小区二发生故障, 然后只对小区二进行分析计算。首先生成网络描述矩阵 D , 然后考察 FTU 的工作模式, 节点 2 处于 1 工作模式上传故障信息 1, 节点 10、11、12、3 处于 -1 工作模式上传故障信息 -1, 其余节点处于 0 工作模式不发送信息。根据故障信息对 D 进行修正生成 P , 根据判断原则由 P 可判断出故障区间。仿真结果得到故障矩阵 $P_f=[2 \ 9 \ 10]$, 由此可知故障发生在节点 2、9 和 10 所包围的区域, 判断正确。

假设节点 2、9、10 之间和节点 3、12、13 之间同时发生故障, 此种故障属于环网多重故障。判断过程和上边一样, 只须改变一下 FTU 的工作模式。

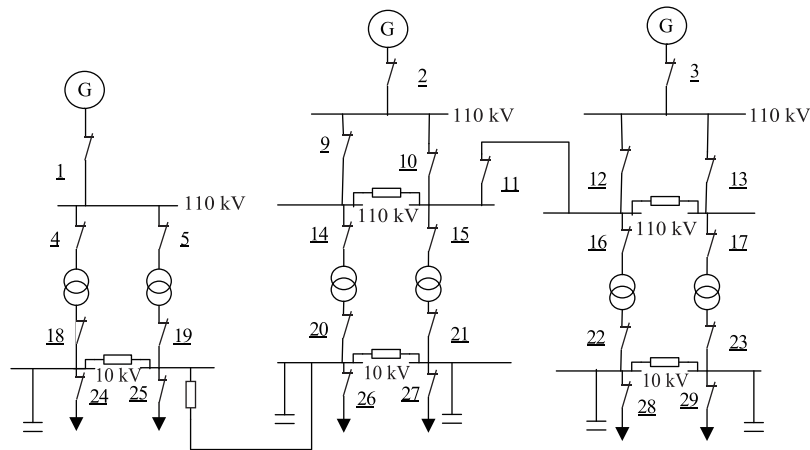


图 2 三电源配电网

Fig. 2 Three Sources Distribution Network

此时节点2处于1工作模式,节点3处于-1工作模式,其余节点处于0工作模式。经过仿真计算得到故障矩阵

$$P_f = \begin{bmatrix} 2 & 9 & 10 \\ 3 & 12 & 13 \end{bmatrix}$$

结果判断出有两个故障区域,分别是节点2、9、10包围的区域和节点3、12、13包围的区域。判断正确,没有产生漏判现象。

3 结 语

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,提出了一种改进型矩阵算法。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,还适用于闭环运行网络故障,而且不仅能解决单电源单一故障的判断,还能解决馈线末端故障的判断和多电源环网多重故障的判断。本算法采用先对配电网进行分区的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。

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 Daozhuo, 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 Zhinong, HE Hua, ZHENG Yuping. A Refined Genetic Algorithm for the Fault Sections Location [J]. Proceeding 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 Jianli, DU Yu. A Unified Matrix Algorithm for Fault Section Detection and Isolation in Distribution System [J]. Automation of Electric Power system, 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 Huijia, 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 Yaoliang, LE Xiufan, GU Xinxin. Synthesis Matrix Algorithm for Fault Section Detection and Isolation in Distribution System [J]. Electric Power Automation Equipment, 2006, 26(3): 38-40.
- [7] 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 Xiujie, XIONG Xinyin, WU Yaowu, et al. Improved Matrix Algorithm and its Application in Fault Location of Distribution Network [J]. Power System Technology, 2004, 28(19): 60-63.
- [8] 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]. 高压技术, 2002, 28(3): 4-6.
XIA Yu, YAO Yuee, LIU Quanzhi. 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: 2009-05-25

作者简介:

余畅(1977),男,湖北人,工程师,博士,主要从事电力系统稳定分析与控制方面工作(e-mail) yuchang@csg.cn;

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

世界首个±800 kV特高压直流输电工程即将投产

云广特高压直流工程是世界上首个±800 kV直流输电工程,也是我国特高压直流输电示范项目,工程自主化率超过60%。该工程将于2008年12月底单极投产。

云广特高压直流工程的建成投产,将使我国的电压等级、电力技术、装备制造以及电网建设上到新的水平,输变电技术管理水平进入世界领先行列;将大大增强云南水电送广东的能力,对于优化资源配置、促进区域协调发展、保障广东珠三角负荷中心的电力供应,具有十分重要的意义。工程投产后,南方电网形成了“八交五直”共13条500 kV及以上的西电东送大通道。

云广特高压直流工程的建设是世界电力发展史上的一

个里程碑。为了建好这个具有开创性、挑战性的世界级工程,南方电网公司携手国内外100多家机构和单位,紧密合作、共同攻关,研制出世界上第一台800 kV的高端换流变压器、第一根长达21 m的直流穿墙套管、第一台电感量为75 mH的空芯平波电抗器;研究解决了特高压直流运行方式和控制保护策略,高海拔地区换流站的绝缘水平,以及单台设备重达300 t的大件运输等难题;形成了世界上第一套、并且具有自主知识产权的特高压直流技术规范 and 标准;通过严密组织、科学管理,实现了工程建设零事故、本体工程零缺陷的目标,荣获了“亚洲最佳输配电工程奖”。

(本刊编辑部)