

# 配电网故障区段判断和隔离的统一矩阵算法

刘 健 倪建立 杜 宇

(西北电业职工大学 710054 西安)

**摘 要** 论述了适用于各种配电网的故障区段判断和隔离的通用算法。首先针对配电网的结构获得一个网络描述矩阵。在发生故障时,根据安放于馈线分段开关处和主变电所的 RTU 上报的过电流信息生成一个故障信息矩阵,通过网络描述矩阵和故障信息矩阵的运算得到一个故障判断矩阵,根据故障判断矩阵就可准确地判断和隔离故障区段。给出了若干实例。

**关键词** 配电网自动化 馈线自动化 故障区段判断 故障区段隔离

**分类号** TM 727.2 TM 744

## 0 引言

随着电力法和承诺制的实行,对供电可靠性提出了更高的要求,配电网自动化逐渐受到越来越多的重视。故障发生后,及时准确地确定故障区段,迅速隔离故障区段并恢复健全区段供电是配电网自动化的最重要的内容之一。

虽然采用重合器和分段器相互配合的方式能够达到上述目的<sup>[1]</sup>,但是存在以下不足:首先,分段开关一般采用失压脱扣形式,故障发生后依靠主变电所断路器跳闸保护整条馈线,不仅响应速度慢,而且实际上扩大了事故范围,尤其是当主变电所保护失灵或断路器拒分时;其次,这种方式需要经过再次重合到故障点处才能判断出故障区段,并经第二次重合才能隔离故障区段,不仅速度慢,而且断路器和分段开关需要多遮断一次故障电流;此外,采用重合器和分段器相互配合的方式,虽然能够在故障时起作用,但是在正常情况下不能对馈线进行监视,更不能对分段开关进行正常的操作,也不能记录故障前故障区段的负荷和其它线路的负荷情况,从而无法在恢复供电时优化配网的结构。

在户外分段开关处安装柱上 RTU,并建设有效而且可靠的通信网络,将其和配电网控制中心的 SCADA 系统联接起来,构成一种高性能的配电网自动化系统,就可以解决上述问题<sup>[2]</sup>。

本文提出一种基于柱上 RTU 的配电网自动化系统的故障区段判断和隔离的统一矩阵算法。

## 1 基本原理

首先需要依据配电网的结构构造一个网络描述

矩阵  $D$ 。根据馈线的最大负荷,对各台柱上 RTU 进行整定。当馈线发生故障时,有故障电流流过的分段开关上的 RTU 将检测到高于其整定值的过电流,此时该 RTU 即将这个故障电流的最大值及其出现的时刻记录下来并上报给配网控制中心的 SCADA 系统,SCADA 系统据此生成一个故障信息矩阵  $G$ ,通过网络描述矩阵  $D$  和故障信息矩阵  $G$  的运算得到一个故障判断矩阵  $P$ ,根据矩阵  $P$  就可准确地判断和隔离故障区段。

### 1.1 网络描述矩阵

将馈线上的断路器、分段开关和联络开关当作节点并进行编号,假设共有  $N$  个节点,则可构造一个  $N \times N$  方阵。若第  $i$  个节点和第  $j$  个节点之间存在一条馈线,则位于第  $i$  行第  $j$  列的元素和位于第  $j$  行第  $i$  列的元素均置 1,并称这两个节点为相邻节点;反之将不存在馈线的节点所对应的元素置 0。这样构成的方阵就称为网络描述矩阵,用  $D$  表示,它反映了馈线的拓扑结构。

如图 1 所示的馈线的网络描述矩阵  $D$  为:

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

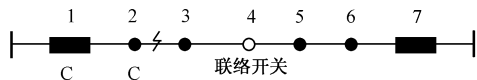


图 1 一个简单的馈线网络 (C 为流过故障电流标志)

Fig. 1 A simple feeder network  
(C indicates the switch with overcurrent)

## 1.2 故障信息矩阵

故障信息矩阵  $G$  也是  $N \times N$  方阵,它是根据故障时 RTU 上报的相应开关是否经历了超过整定值的故障电流的情况来构造的。具体的定义方式为:如果第  $i$  个节点的开关经历了超过整定值的故障电流,则故障信息矩阵的第  $i$  行第  $i$  列的元素置 0;反之则第  $i$  行第  $i$  列的元素置 1,故障信息矩阵的其它元素均置 0。也即故障信息反映在矩阵  $G$  的对角线上。图 1 中,相应的故障信息矩阵  $G$  为:

$$G = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

## 1.3 故障判断矩阵

网络描述矩阵  $D$  和故障信息矩阵  $G$  相乘后得到矩阵  $P'$ ,再对矩阵  $P'$  进行规格化后就得到了故障判断矩阵  $P$ ,即

$$P = g(D \times G) = g(P') \quad (3)$$

其中  $g(\cdot)$  代表规格化运算,其具体操作如下。

若  $D$  中的元素  $d_{mj}, d_{nj}, \dots, d_{kj}$  为 1,并且  $G$  中  $g_{jj} = 1$  时,需对  $P'$  中第  $j$  行和第  $j$  列的元素进行规格化处理,若  $g_{mm}, g_{nn}, \dots, g_{kk}$  至少有两个为 0,则将  $P'$  中第  $j$  行和第  $j$  列的元素全置 0;若上述条件不满足,则  $P'$  中相应的元素值不变。

故障判断矩阵  $P$  反映了故障区段:若  $P$  中的元素  $p_{ij} \text{ XOR } p_{ji} = 1$ ,则馈线上第  $i$  节点和第  $j$  节点之间的区段有故障,故障隔离时应断开第  $i$  节点和第  $j$  节点, XOR 表示异或。

图 1 例子中的故障判断矩阵  $P$  为:

$$P = g(D \times G) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

由式(4)可见,  $p_{34} \text{ XOR } p_{43} = 0$ ,  $p_{45} \text{ XOR } p_{54} = 0$ ,  $p_{56} \text{ XOR } p_{65} = 0$ ,  $p_{67} \text{ XOR } p_{76} = 0$ ,只有  $p_{23} \text{ XOR } p_{32} = 1$ ,因此故障点在节点 2 和节点 3 之间。

## 2 更复杂的情形

考察如图 2 所示的一个更复杂的馈线网络,为了不失一般性,图中有意打乱了编号顺序。

图 2 所示馈线的网络描述矩阵  $D$  为:

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

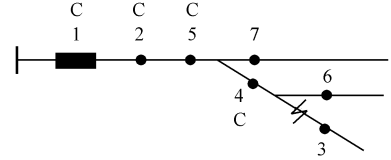


图 2 一个较复杂的馈线网络  
(C 为流过故障电流标志)

Fig. 2 A complicated feeder network  
(C indicates the switch with overcurrent)

若如图 2 所示位置处发生故障,则相应的故障信息矩阵  $G$  为:

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

相应的矩阵  $P'$  为:

$$P' = D \times G = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

由于  $d_{47} = d_{57} = 1$ ,  $g_{77} = 1$ ,且  $g_{44} = g_{55} = 0$ ,因此要对  $P'$  阵中的第 7 行和第 7 列元素进行规格化,  $p_{77} = p_{7i} = 0$ 。经上述规格化后得到故障判断矩阵  $P$  为:

$$P = g(P') = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

由式(8)可见,  $p_{43} \text{ XOR } p_{34} = 1$ ,  $p_{46} \text{ XOR } p_{64} = 1$ ,因此故障点可能在节点 4 和节点 3 之间或在节点 4 和节点 6 之间。

### 3 讨论

对于树状网,故障区段显然位于从电源到末梢方向第一个未经历故障电流的节点和最后一个经历了故障电流的节点之间。根据网络描述矩阵和故障信息矩阵的定义以及故障判断矩阵的得出方式,如果一条馈线段的一个节点经历了故障电流而另一个节点未经历故障电流,则在故障判断矩阵中这两个节点对应的两个元素必然不相同;而若该馈线段的两个节点均经历了故障电流或均未经历故障电流,则在故障判断矩阵中这两个节点对应的两个元素必然相同。为此在根据故障判断矩阵进行故障区段判断时,必须采用异或算法。

如果不进行规格化而直接采用  $P'$  作为故障判断矩阵,对于复杂的网络就会出现判断失误,如对于图 2 所示的例子,若不进行规格化则会错误地认为故障点也可能位于节点 5 和节点 7 之间。规格化实际上反映的是这样的物理含义:假设故障是单一的,若一个未经历故障电流的节点的所有相邻节点中至少存在两个节点经历了故障电流,则该节点不构成故障线段的一个节点。这个论断显然是正确的。

在本文提出的算法中,断路器、分段开关和联络

开关均可同样看待,不必区分,因此应用非常方便。

### 4 结语

采用网络描述矩阵和故障信息矩阵获得的故障判断矩阵,可以准确地判断和隔离树状配电网的故障区段,便于生成统一的程序,并代表了一种新的馈线保护原理。这种方法已在银川城区配电网自动化系统<sup>[2]</sup>中得到了验证。

将故障信息矩阵中的元素改为故障潮流的方向后,本文提出的算法就可应用于环网,作者目前正在研究在隔离了故障区段后,如何根据潮流计算,在恢复供电时优化配电网的结构。

### 参 考 文 献

- 1 王章启,顾霓鸿. 配电自动化开关设备. 北京:水利水电出版社,1995
- 2 刘 健,倪建立,陈 源,等. 银川城区配电网自动化系统. 电力系统自动化,1998,22(8)

---

刘 健,男,1967 年生,博士,副教授,目前正在西安交通大学博士后工作站从事研究工作,IEEE 会员,研究领域为电力系统自动化。

## A UNIFIED MATRIX ALGORITHM FOR FAULT SECTION DETECTION AND ISOLATION IN DISTRIBUTION SYSTEM

*Liu Jian, Ni Jianli, Du Yu*

(Northwest Electricity Staff University, 710054, Xi'an, China)

**Abstract** A unified algorithm for fault section detection and isolation in distribution system is presented. A describing matrix must be first established on the basis of the structure of distribution system. When fault occurs, a fault information matrix is formed according to the message from pole-mounted RTU and the RTU in main substation. A fault detecting matrix can be obtained from the above two matrixes, with which the fault section can be detected and isolated correctly. Several examples related to the proposed algorithm are discussed.

**Keywords** distribution automation (DA) feeder automation (FA) fault section detection fault section isolation