

# 一种基于可靠性指标的复杂配电网网络重构算法

刘军<sup>1,2</sup>, 刘明波<sup>2</sup>

(1. 广东省广电集团有限公司广州供电分公司, 广东 广州 510600; 2. 华南理工大学电力学院, 广东 广州 510640)

**摘要:** 以提高可靠性为目标, 提出了一种简单、高效的复杂配电系统的网络重构算法。该算法将网络重构的优化过程分解成与动态变化的联络刀闸相对应的重构子问题。依次闭合每个联络开关, 就可以得到具有不同网络拓扑结构的单环网, 并分别对馈线内单环网和馈线间单环网提出了网络重构方法。通过一个实际的电力系统算例证实了本算法的有效性。

**关键词:** 可靠性指标; 复杂配电网络; 网络重构

**中图分类号:** TM744 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)20-0068-06

## 0 引言

配电网网络重构是指在满足辐射状配电网负荷需要的前提下, 通过改变刀闸的状态组合, 达到降低网损、消除过载、提高系统可靠性等目的。该问题自 1975 年提出来之后, 学者们已经进行了大量的研究。以往的配电网网络重构, 通常以正常情况下系统网损最小为目标函数<sup>[1]</sup>。随着城市电网对电力系统可靠性要求的不断提高, 基于可靠性的配电网网络重构正成为研究的热点<sup>[2~5]</sup>。

在研究基于可靠性的配电网网络重构时, 文献 [2] 率先建立了一个简单的数学模型, 并推导出在简单的配电网中当两条馈线间联络开关的位置发生变化时, 对系统可靠性指标影响的公式, 并由此作为指导开关打开的判据。其不足之处在于其推导的公式不适合复杂的配电网, 且未考虑馈线间的重构, 算法本身显得较粗糙。文献 [2] 还建议, 可以通过遗传算法、模拟退火法和 Tabu 搜索这些随机组合的方法来使结果跳出局部最优的圈子。文献 [3~5] 则按照此建议, 分别研究这三种方法在基于可靠性的配电网网络重构中的应用。然而, 这些算法在享有随机组合类算法的优越之外, 同样不可避免地存在着这些算法自身不可避免的不足, 即需要调节控制参数。

本文借鉴研究基于网损的配网重构所采用的单环网方法<sup>[1]</sup>, 对文献 [2] 的简单的启发式算法进行了全面的推广, 使之适用于大规模的带有分支线的复杂配电网网络的重构。通过一个算例系统的计算证实了该算法的有效性。

## 1 数学模型

### 1.1 可靠性评估指标

配电系统可靠性指标一般分为负荷点可靠性指标和系统可靠性指标 2 种。负荷点可靠性指标的评估主要依赖 6 个参数:  $N_i$ ,  $\lambda_i$ ,  $\tau_i$ ,  $U_i$ ,  $r_i$ 。其中,  $N_i$  为用户数,  $\lambda_i$  为年平均永久故障率,  $\tau_i$  为永久故障平均修复时间,  $r_i$  为年平均停运率,  $U_i$  为年平均停运时间,  $r_i$  为平均停运时间。系统可靠性指标是在系统中各负荷点可靠性指标的基础上进行评价, 根据对系统可靠性要求的不同, 有多种评价指标<sup>[6]</sup>。本文采用较为常用的两个重要指标对系统综合评价: 系统平均断电频率指标 (SAIFI) 和用户平均断电指标 (SAIDI), 其中:

$$SAIFI = \frac{\text{用户断电总次数}}{\text{用户总数}} = \frac{\sum_i N_i \lambda_i \tau_i}{\sum_i N_i} \quad (1)$$

$$SAIDI = \frac{\text{用户停电持续时间总和}}{\text{用户总数}} = \frac{\sum_i U_i N_i}{\sum_i N_i} \quad (2)$$

### 1.2 以可靠性为目标的重构优化模型

本文所采用的系统可靠性指标在给出系统可靠程度信息的同时, 由于侧重点各有不同, 表达信息并不一致, 各自都只反映了系统可靠性的某一个方面, 因此在评价配网可靠性的时候, 有必要对它们进行综合考虑, 因此这是一个多目标问题。

由于各个指标的量纲不同, 无法用一般的求和方法来综合考虑。在此, 本文采取对系统指标标幺化的方法对其进行了解答。所谓标幺化, 即对具有同一单位的所有数值在取定一个基准值的情况下, 对基准值的比值, 是一个无量纲的量。标幺化的特

点有两个: 去除了所研究的数值对象的量纲; 失去量纲后的数值与其他具有原来量纲的所有标么化之后的数值的比例关系仍维持不变。这两个特点满足了本文对多个系统可靠性指标进行综合考虑的要求, 体现在两个方面: 解决了针对具有不同量纲系统指标进行综合考虑的问题; 也保证了原来具有同一量纲的指标之间的可比性。

在评价配网可靠性的时候, 不同的配网则对不同的指标重视程度也有不同。为了体现实际工作中的这一情况, 我们必须能够将它们分别进行有侧重的加以综合考虑。基于该思想, 本文采取了以下目标函数进行系统的综合评价:

$$\min k_1 SAIF I_{pu} + k_2 SADI I_{pu} \quad (3)$$

满足如下约束条件:

- 1) 每个负荷点都能同时得到供电;
- 2) 网络呈辐射状运行;
- 3) 各负荷点的电压要满足要求;
- 4) 在供电线路上的电流不得超过允许上限。

其中:  $k_1$  和  $k_2$  为权系数, 可人为设置和调整;  $SAIF I_{pu}$ 、 $SADI I_{pu}$  分别为  $SAIF I$ 、 $SADI$  的标么值, 由下式计算:

$$SAIF I_{pu} = SAIF I / SAIF I_0$$

$$SADI I_{pu} = SADI / SADI_0$$

式中: 基准值  $SAIF I_0$ 、 $SADI_0$  可取为初始状态时的  $SAIF I$ 、 $SADI$ 。上述优化模型中的控制变量为隔离开关的状态矢量, 每个开关状态均为 0-1 变量。

## 2 基于启发式的复杂配电网重构

首先将系统中所有的联络开关 (设共有  $n$  个) 依次闭合, 这样, 就可以得到  $n$  种不同的网络拓扑结构。在每一种拓扑结构中, 均存在着一个单环网。通过计算, 可以求出在每个单环网中, 打开哪一个刀闸, 使得系统的可靠性指标取得局部最优。然后, 将这  $n$  个局部最优解加以比较, 找出其中的最优解, 并将此最优解对应的网络拓扑结构 (仍然为辐射状网络) 来代替最初的系统辐射状网络拓扑结构, 再继续依次闭合当前系统的  $n$  个联络开关, 从而形成  $n$  个新的单环网, 重复前述计算步骤, 直到相邻两步所对应的网络拓扑结构的可靠性指标不再提高为止。对于初始状态下的系统可靠性指标, 可以通过文献 [6] 提出的网络等值方法计算, 而在下面的迭代过程中, 只需求出当前系统和上一步迭代的系统的可靠性指标的差值。

配电网中的单环有两种, 一种是馈线内单环, 由

合上某一馈线内的联络开关产生, 如图 1 所示; 另一类是馈线间单环, 由合上两条馈线之间的联络刀闸产生, 如图 2 所示。在这两种情况下, 当单环网中打开的刀闸位置发生变化之后, 其对系统可靠性指标的影响是不一样的, 需要分开讨论。

### 2.1 馈线内单环网的重构

图 1 是馈线内的单环网重构的示意图。当闭合刀闸  $s_1$  时, 形成一个单环网。在该单环网中, 需要重新打开一个刀闸, 使其重新返回到辐射的状态, 如打开  $s_2$ 。在闭合刀闸  $s_1$  打开刀闸  $s_2$  之后, 刀闸  $s_1$  和刀闸  $s_2$  之间的负荷点  $m_3$ 、 $l_3$ 、 $m_4$ 、 $l_4$  由供电方向 1 转移到了供电方向 2。此处, 将从  $m_0$  到  $m_3$  的供电方向定义为供电方向 1, 将从  $m_0$  到  $m_6$  的供电方向定义为供电方向 2。对图 1 中的节点, 分为四类: 第一类是供电线路 1 和供电线路 2 公共线路上的主节点 ( $m_0$ 、 $m_1$ ), 其中公共线路和单环网的公共节点定义为环网顶点 ( $m_1$ ); 第二类为公共线路上的分支线上的节点 ( $l_3$ 、 $l_4$ ); 第三类为单环网主干线上非环网顶点的节点 ( $m_2$ 、 $m_3$ 、 $m_4$ 、 $m_5$ 、 $m_6$ 、 $m_7$ ); 第四类为单环网主干线上非环网顶点的分支节点 ( $l_2$ 、 $l_3$ 、 $l_4$ 、 $l_5$ 、 $l_6$ 、 $l_7$ )。

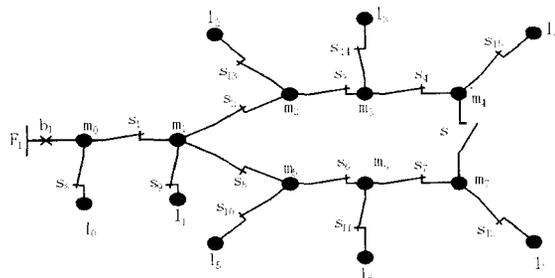


图 1 馈线内单环网

Fig 1 A one-loop network inside the feeder

为方便起见, 首先考虑主干线上转移的负荷点只有一个的情形, 如在图 2 中闭合刀闸  $s_1$ , 打开刀闸  $s_2$ , 则主干线上的负荷点  $m_4$  从供电方向 1 转移到供电方向 2, 当然,  $m_4$  的分支线上的负荷点  $l_4$  的供电方向也随着  $m_4$  发生了相应的转移。

因为此单环网是处于同一馈线内的单环网, 故在闭合刀闸  $s_1$  打开刀闸  $s_2$  前后, 当  $m_4$  和  $l_4$  发生故障的时候, 整条馈线的其他节点都会发生停电, 其停电时间为故障隔离时间  $t_f$ ; 而当馈线中的其他节点发生故障时, 也会导致  $m_4$  和  $l_4$  的停电, 其停电时间则与故障节点的类型以及网络的拓扑结构有关。

当第一类节点发生故障时, 如果  $m_4$ 、 $l_4$  具有后备的不经过故障点的供电方式, 则  $m_4$ 、 $l_4$  的停电时间为故障恢复时间  $t_r$ , 反之, 则为故障点的故障修复时

间。

当第二类和第四类节点发生故障时,因为其不在  $m_4$ 、 $l_4$  的供电的主干线上,故  $m_4$ 、 $l_4$  的停电时间为故障隔离时间。

当第三类节点发生故障的时候,则需要看其是否与  $m_4$ 、 $l_4$  处与同一条供电线路。在同一条供电线路时, $m_4$ 、 $l_4$  的停电时间为故障恢复时间  $t_s$ ,如在闭合刀闸  $s_4$  打开刀闸  $s_4$  前, $m_4$  和  $m_3$  处于同一条供电线路,当  $m_3$  发生故障的时候, $m_4$  和  $l_4$  可以通过打开  $s_4$ 、闭合  $s_4$  获得恢复供电。反之,在不同的供电线路时, $m_4$ 、 $l_4$  的停电时间为故障隔离时间  $t_f$ ,如在闭合刀闸  $s_4$  打开刀闸  $s_4$  前,当  $m_7$  发生故障的时候, $m_4$ 、 $l_4$  的停电时间为  $t_f$ 。

通过上述的分析表明,在馈线内的单环网中重构前后,系统的  $SAIFI$  保持不变,而  $SADI$  的变化则是因为在重构前后该节点供电线路上的第三类节点的影响,即:

$$SAIFI = 0 \quad (4)$$

$$SADI = (t_s - t_f) (N_m + N_l) \cdot \left( \sum_{m_i \in L_2} pm_i - \sum_{m_i \in L_1} pm_i \right) / N_{Tot} \quad (5)$$

其中: $m_i \in L_1$  表示如果节点  $m_i$  为供电方向 1 上非节点  $m$  的第三类节点,  $m_i \in L_2$  表示如果节点  $m_i$  为供电方向 2 上的非节点  $m$  的第三类节点,  $N_{Tot}$  指整个系统的客户人数之和。  $N_m$ 、 $N_l$  分别指节点  $m$ 、 $l$  的客户人数,  $pm_i$  指节点  $m_i$  的年永久故障率。

当一次转移的主干线上的负荷点不只一个时(如闭合  $s_4$  打开  $s_4$  时),可以将此过程等价为一连串的每次转移主干线上的一个负荷点的情形,如将闭合  $s_4$  并打开  $s_4$  的过程等值为连续操作的两步:第一步,闭合  $s_4$  打开  $s_4$ ;第二步,闭合  $s_4$  打开  $s_4$ 。通过这样的方法,可以求出在一个单环网中(合上联络开关之后)打开任何一个环中的开关之后系统的可靠性指标的变化,并可从中求出该环网中最优的刀闸打开位置。值得说明的是:

1) 在打开不同的开关求其对系统可靠性指标的影响时,需要注意到打开不同的开关后所对应的供电方向 1 和供电方向 2 上的节点发生了变化,应及时修正。

2) 一般情况下,不需要对单环网中每一个刀闸都加以计算,因为,当我们从联络开关的两端开始,分别逆着供电方向 1 和供电方向 2 搜寻最佳的打开位置时,由于供电方向 1 和供电方向 2 中的节点数目单调变化,则此增彼减,由上述可靠性指标修正公

式(4)和(5)可看出:当逆着供电线路搜寻到一定的时候,已能确定在该方向上(供电方向 1 或 2),打开哪个刀闸达到最佳的效果。

3) 在实际情况下,第四类节点可能不是一个简单的节点,而是一个复杂的分支线。此时,可将每个复杂的分支线等值成一个点,该点的等效参数  $p_{equ}$ 、 $N_{equ}$  只需将该分支线的每个节点的  $p$  和  $N$  进行简单的求和即可。

### 2.2 馈线间单环网的重构

图 2 是馈线内重构的示意图,与图 1 相比,图 2 中不存在图 1 中的第一类节点和第二类节点。其第三类节点与第四类节点的定义与图 1 相同。当刀闸  $s$  闭合后,图 2 中形成单环网。与前文类似,此处仍以合上  $s_4$  打开  $s_4$  说明负荷转移对系统可靠性指标  $SAIFI$  和  $SADI$  的影响。此处,把从馈线  $F_1$  中获取电能的供电方向称为供电方向 1,把从馈线  $F_2$  中获取电能的供电方向称为供电线路 2。

在合上  $s_4$  打开刀闸  $s_4$  之前, $m_3$ 、 $l_3$  均属于供电方向 1,当供电方向 1 中的节点(不包括  $m_3$  和  $l_3$ )发生故障时,如果是属于第三类节点的  $m_1$  或  $m_2$ ,则  $m_3$  和  $l_3$  可以通过合上  $s_4$  打开  $s_4$  获得恢复供电,其停电时间均为  $t_s$ ;如果是属于第四类节点,如  $l_4$  发生故障时,断路器  $b_1$  打开,然后  $s_4$  打开,  $b_1$  重合,  $m_3$  和  $l_3$  的停电时间为  $t_f$ ;当供电线路 2 上面的节点发生故障时,无论是第三类节点  $m_4$ 、 $m_5$ 、 $m_6$ ,还是第四类节点  $l_4$ 、 $l_5$ 、 $l_6$ ,均对  $m_3$ 、 $l_3$  丝毫没有影响。当  $m_3$  或者  $l_3$  发生故障时,因为  $m_3$ 、 $l_3$  处于供电方向 1 中的末端,故供电方向 1 中的其他节点的停电时间都是故障隔离时间  $t_f$ ,而供电方向 2 中的节点均不受影响。

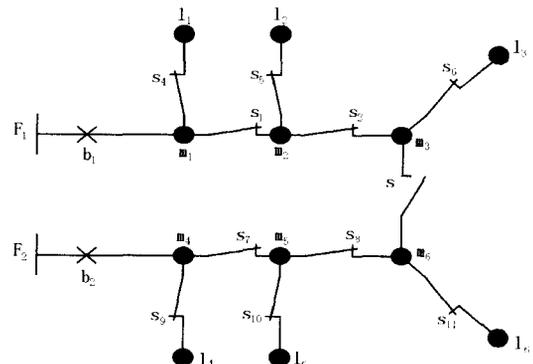


图 2 馈线间单环网

Fig 2 A one-loop network between the feeder

在合上  $s_4$  打开刀闸  $s_4$  之后,  $m_3$ 、 $l_3$  从原来的供电方向 1 转移到供电方向 2,可以仿照上段的方式

对此情形进行分析,从略。

至于  $m_3$  ( $l_3$ ) 发生故障时导致的  $l_3$  ( $m_3$ ) 停电的情况,这和  $m_3$  ( $l_3$ ) 处于哪一条供电方向无关,不予讨论。

通过上述负荷转移前后的分析,可以发现转移前后  $SAIFI$  发生了变化,而在馈线内重构时  $SAIFI$  是不变的。 $SADI$  的变化的表达式也与馈线内重构的表达式有所差异。这些变化产生的本质原因是在馈线内重构时任何一点发生故障都对整条馈线有影响,而在馈线间重构时故障点只对故障点所在馈线上的节点有影响,而对另一条馈线的节点没有影响。

一般的讲,设单环网主干线的一个节点  $m$  和与之对应的分支线节点  $l$  由供电方向 1 转移到供电方向 2,其对应的系统可靠性指标  $SAIFI$  和  $SADI$  的变化为:

$$SAIFI = ((p_{m_1} + p_{l_1})(N_m + N_1 + \sum_{m_i \in L_2} (N_{m_i} + N_{l_i})) + \sum_{m_i \in L_2} (p_{m_i} + p_{l_i})(N_m + N_1)) / N_{Tot} - ((p_{m_1} + p_{l_1})(N_m + N_1 + \sum_{m_i \in L_1} (N_{m_i} + N_{l_i})) + \sum_{m_i \in L_1} (p_{m_i} + p_{l_i})(N_m + N_1)) / N_{Tot} = ((p_{m_1} + p_{l_1})(\sum_{m_i \in L_2} (N_{m_i} + N_{l_i}) - \sum_{m_i \in L_1} (N_{m_i} + N_{l_i})) + (\sum_{m_i \in L_2} (p_{m_i} + p_{l_i}) - \sum_{m_i \in L_1} (p_{m_i} + p_{l_i}))(N_m + N_1)) / N_{Tot} \quad (6)$$

$$SADI = [t_s \sum_{m_i \in L_2} p_{m_i} (N_m + N_1) + t_f \sum_{m_i \in L_2} p_{l_i} (N_m + N_1) + t_f (p_{m_1} + p_{l_1}) \sum_{m_i \in L_2} (N_{m_i} + N_{l_i})] / N_{Tot} - [t_s \sum_{m_i \in L_1} p_{m_i} (N_m + N_1) + t_f \sum_{m_i \in L_1} p_{l_i} (N_m + N_1) + t_f (p_{m_1} + p_{l_1}) \sum_{m_i \in L_1} (N_{m_i} + N_{l_i})] / N_{Tot} \quad (7)$$

其中:  $m_i \in L_1$  表示如果节点  $m_i$  为供电方向 1 上非节点  $m$  的第三类节点,  $m_i \in L_2$  表示如果节点  $m_i$  为供电方向 2 上的非节点  $m$  的第三类节点,  $N_{Tot}$  指整个系统的客户人数之和,  $p_{m_1}$ 、 $p_{l_1}$ 、 $p_{m_i}$ 、 $p_{l_i}$  分别指负荷点  $m$ 、 $l$ 、 $m_i$ 、 $l_i$  的年永久故障率。 $t_f$  为故障隔离时

间,  $t_s$  为故障恢复时间。

当一次转移的主干线上的负荷点不只一个时(如闭合  $s$ , 打开  $s_i$ ), 与馈线内重构相似, 可以将此过程等价为一连串的每次只转移主干线上的一个负荷点的情形, 馈线内重构部分最后的三点说明在此同样适用。

### 3 算例

为了验证本文算法的效率, 我们对文献 [4] 提供的算例系统进行了计算。该算例如图 3 所示, 是台湾的一个实际电力系统, 从一个变电站中引出了 9 条出线, 共有 41 个供电区域, 9 条联络开关, 故障隔离时间  $t_f = 0.5$  h, 故障恢复时间  $t_s$  为 1 h, 每个供电区域的永久故障修复时间  $t_r$  为 3 h, 每个供电区域的客户人数和年永久故障频率参见文献 [4]。考虑到本文只是集中研究基于可靠性研究网络重构的影响。故我们只计算了第一种情况 (case1)。

在文献 [4] 中的 case1 中, 其目标函数为  $C$  ( $CONF_1$   $CONF_2$ ) 为: 在不考虑电压约束的条件下求  $(2F + D)$ , 其中:  $CONF_1$  是最初的系统,  $CONF_2$  是待求的最佳系统, 并且:

$$F = \frac{SAIFI(CONF_1) - SAIFI(CONF_2)}{SAIFI(CONF_1)}$$

$$D = \frac{SADI(CONF_1) - SADI(CONF_2)}{SADI(CONF_1)}$$

$$\text{即: } C(CONF_1 \text{ } CONF_2) = 3 - \frac{2SAIFI(CONF_2)}{SAIFI(CONF_1)} -$$

$$\frac{2SADI(CONF_2)}{SADI(CONF_1)} = 3 - 2ASIF_{pu} - SADI_{pu}$$

为了便于比较, 在本文算法中, 此处将目标函数设为  $(2ASIF_{pu} + SADI_{pu})$ ,  $SAIF_{pu}$ 、 $SADI_{pu}$  均是标么值, 分别以系统最初状态时的  $SAIFI$ 、 $SADI$  为基准。显然, 此目标函数和文献 [4] 中的目标函数取得极值时的系统状态是一样的。通过本文算法计算得到的优化过程和优化结果参见表 1, 其最终优化状态与文献 [4] 相同。

表 1 采用本文算法的计算结果

Tab 1 Calculated result based on the proposed algorithm

优化步骤	合	开	SAIFI	SADI	SAIFI <sub>pu</sub>	SADI <sub>pu</sub>	2SAIFI <sub>pu</sub> + SADI <sub>pu</sub>
0			0.122 505	0.151 159	1	1	3
1	S <sub>4</sub>	S <sub>53</sub>	0.117 776	0.341 6	0.961 397	0.980 067	2.902 87
2	S <sub>3</sub>	S <sub>62</sub>	0.113 869	0.145 544	0.929 505	0.962 854	2.821 86
3	S <sub>1</sub>	S <sub>11</sub>	0.110 876	0.144 559	0.905 073	0.956 337	2.766 49
4	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	0.109 87	0.143 596	0.896 861	0.949 967	2.743 7

需要说明的是,表 1 中系统的  $SA DI$  在系统最初和最佳状态时均与文献 [4] 在相同的拓扑结构和系统参数下与文献 [4] 有一定差异,为此,采用最基本的故障模式后果分析法独立地对系统在最初和最佳状态下的  $SA DI$  进行了计算,验证了本算法计算结果的正确性。为便于检查,表 2 列出了计算过程中每条馈线对整个系统的  $SA DI$  贡献,其中最后一列为整个系统的  $SA DI$ 。

在文献 [4] 的算法中,由于对迭代收敛性无法预先进行很好的控制,所以在迭代过程中,作者将需要随机产生的网络拓扑结构的数目设为 3 000,而在

本算法中,在获得同样优化结构的条件下,本算法只迭代了 4 步,在每一步中,最多计算与联络开关相同数目的单环网;在对计算过程中单环网的计算数目加以简化之后,其计算量更是大幅度的减小。而且,本算法只是在最初的时候,计算了一下整个系统的可靠性指标,在下面的迭代过程中,只需根据网络拓扑结构的变化求出其相应的可靠性指标的变化,无需对整个系统进行重新计算。此外,本算法不存在调整控制参数的麻烦,由此可见,本算法即具有足够的精确性,又有相当的快速性。

表 2 采用故障模式后果分析法得到的系统在最初和最佳状况下的指标

Tab 2  $SA DI$  Index of the initial and best system using FMEA

	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$	$F_6$	$F_7$	$F_8$	$F_9$	系统
最初状态	0.033 546 6	0.002 516 26	0.011 271 1	0.009 066 61	0.019 889 1	0.040 463	0.009 179 48	0.014 081	0.011 146	0.151 159
最佳状态	0.029 334 4	0.010 224 9	0.031 024 3	0.009 066 61	0.012 917 5	0.018 108 6	0.009 179 48	0.014 081	0.009 659 65	0.143 596

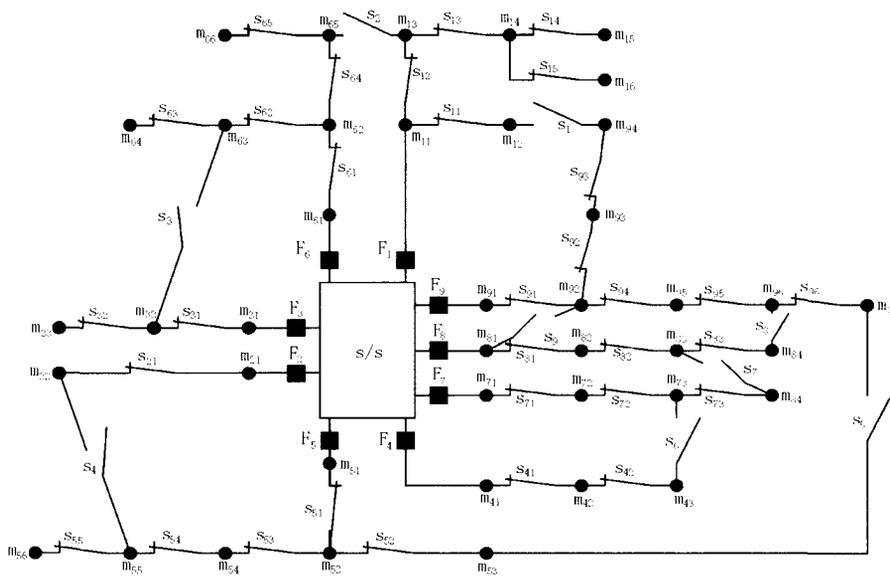


图 3 一个真实的台湾配电系统

Fig 3 A real Taiwan distribution system

## 4 结论

1) 本文提出了一套高效的基于可靠性指标的复杂配电系统网络重构算法,该算法计算速度很快,同时有很高的计算效果。

2) 本文在计算不同的网络拓扑结构的可靠性指标时,只是在一开始计算全网的可靠性指标,在随后的计算过程中,都是通过求出系统可靠性指标的变化来求出新的拓扑结构下的可靠性指标,提高了计算速度。

3) 为了突出重点,本文没有考虑网损,也没有

考虑线路的电压约束和电流约束,在实际应用时,可视情况考虑这些影响,在本文的基础上加以修正。

## 参考文献:

- [1] 邓佑满. 配电网优化的理论与算法 (博士学位论文) [D]. 北京:清华大学, 1994  
DENG You-man Theories and Algorithms: Distribution Networks Optimization, Doctoral Dissertation [D]. Beijing: Tsinghua University, 1994
- [2] Tsai Li-hui Network Reconfiguration to Enhance Reliability of Electric Distribution Systems [J]. Electric Power Systems Research, 1993, 27 (2): 135-140

- [3] 张焰,陈章潮,吴思谋. 提高供电可靠性的配电网重构[J]. 电工电能新技术, 1997, 60(2): 14-17.  
ZHANG Yan, CHEN Zhang-chao, WU Simou Network Reconfiguration to Enhance Reliability of Electric Distribution Systems[J]. New Technology of Electrical Power and Energy, 1997, 60(2): 14-17.
- [4] Su C T, Lee C S, Huang L L. Feeder Reconfiguration Employing Simulated Annealing for Distribution Systems[J]. European Transactions on Electrical Power, 2001, 11(5): 341-347.
- [5] 王秀丽,吴宏晓,别朝红,等. 以提高系统可靠性为目的的配电网重构[J]. 中国电力, 2001, 34(9): 40-43.  
WANG Xiu-li, WU Hong-xiao, BIE Chao-hong, et al Distribution Network Reconfiguration to Enhance Reliability [J]. Electric Power, 2001, 34(9): 40-43.
- [6] 别林登,等. 电力系统可靠性评估[M]. 周家启,等译. 重庆:科学技术文献出版社重庆分社, 1986.  
Billinton R, et al Reliability Assessment of Power Systems[M]. ZHOU Jia-qi, et al Trans Chongqing: Chongqing Branch of Science and Technology Literature Press, 1986.

收稿日期: 2005-02-24

作者简介:

刘军(1971-),男,硕士研究生,主要研究方向为电力系统分析与计算; E-mail: liujun0923@163.com

刘明波(1964-),男,教授,博士,主要研究方向为电力系统优化计算与稳定性分析及电力市场。

### A reconfiguration algorithm for complex distribution networks based on reliability index

LIU Jun<sup>1,2</sup>, LIU Ming-bo<sup>2</sup>

(1. Guangzhou Branch, Guangdong Power Grid Co., Ltd, Guangzhou 510600, China;

2. Electric Power College, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** Based on the reliability index, a simple and efficient reconfiguration algorithm for complex distribution networks is presented. This algorithm decomposes the optimization process of network reconfiguration into the sub-reconfiguration problem corresponding to dynamic change of connection switches. One-loop networks with different network topology will be obtained through closing connection switches one by one, and a new reconfiguration algorithm is proposed for the one-loop network between the feeders and the one-loop network inside the feeder respectively. Furthermore, results on a real power system show effectiveness of the proposed algorithm.

**Key words:** reliability index; complex distribution network; network reconfiguration

(上接第 56 页 continued from page 56)

- [5] Kundur P. 电力系统稳定与控制[M]. 北京:中国电力出版社, 1994.  
Kundur P. Power System Stability and Control[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1994.
- [6] 倪以信,陈寿孙,张宝霖. 动态电力系统的理论和分析[M]. 北京:清华大学出版社, 1994.  
NI Yi-xin, CHEN Shou-sun, ZHANG Bao-lin Theory and Analysis of Power System Dynamic[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1994.
- [7] 李志军,杨梅,等. Matlab在同步发电机仿真中的初始问题[J]. 大电机技术, 2003, (6): 62-66.
- LI Zhi-jun, YANG Mei, et al Research in Several Aspects of Synchronous Machine Simulation Based on Matlab[J]. Large Electric Machine and Hydraulic Turbine, 2003, (6): 62-66.

收稿日期: 2005-07-22; 修回日期: 2005-08-22

作者简介:

向婉芹(1981-),女,研究生,研究方向为电力系统分析、运行与控制; E-mail: malaqincai@eyou.com

盛四清(1965-),男,博士,副教授,研究方向为电力系统分析、运行与控制,人工智能在电力系统中的应用等。

### Application of leading phase operation of generation based on Matlab power system blockset

XIANG Wan-qin, SHENG Si-qing

(Dept of Electrical Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

**Abstract:** This paper compares SPS of Matlab6.0/Simulink with PSB of Matlab5.x/Simulink and analyses the merits of SPS. It uses SPS to build the simulation models on single-machine infinite-bus power system. Simulation is contracted from lagging phase operation to leading phase operation when the active power and outside system resistance are different. The effects on depth and stability of leading phase operation based on the simulation data are analysed.

**Key words:** Matlab; leading phase operation; simulation; SPS