

考虑负荷变化和和设备过载能力的多目标配网供电恢复

刘 栋, 沈 广, 樊友平

(武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072)

摘要: 介绍了一种配电网供电恢复模型, 这种模型考虑了故障修复期间负荷的变化和承担负荷转移的设备的过载能力, 以恢复最多负荷、最小开关数、最小过负荷三级目标作为评价恢复方案指标, 使用启发式搜索算法, 并使用回溯算法作为进一步优化的方法。最后的算例证明了本算法的可行性。

关键词: 供电恢复; 启发式搜索; 回溯; 设备过载能力; 负荷变化

中图分类号: TM715 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)17-0039-06

0 引言

在配网运行中存在着各种潜在的故障, 可能导致配网的全部或局部停电。当配网发生故障后, 调度员必须确定故障发生地, 隔离故障, 并恢复非故障区的供电。除此以外非故障引起的设备检修也应尽可能不停电。配电网供电恢复是系统恢复中的重要问题, 是配电网运行的重要组成部分。配网恢复受接线方式、设备线路参数、负荷预测等因素的影响, 其方案的制定有各种各样的侧重点, 属于一个多目标、组合性质的、非线性问题。

当前有很多关于配网供电恢复问题的研究。文献 [1] 介绍了评价配网恢复能力的方法。在早期的配网恢复方案中多将恢复最多负荷或最小开关数作为唯一目标而将其它因素作为约束条件进行优化。近几年有关配网恢复的问题更多地考虑了各个因素相互协调的恢复方案, 将配网恢复的约束条件满足程度作为目标函数的子指标建立成多目标的优化模型^[2-6], 并广泛地使用了模糊推理方法。文献 [3] 介绍了基于多目标和模糊推理的配网恢复, 其考虑的目标有恢复最多负荷、最少开关操作、最少过载、设备负载平衡, 并使用层次分析法评估各指标权重。文献 [4-6] 采用模糊数学中的最小-最大合成法来评估各项指标得到最优解, 这些文献将约束满足程度作为目标函数的一部分, 建立罚函数, 且罚函数无需为 0, 类似于模糊数的定义, 所以使用模糊理论加以解释。

关于配网恢复优化的求解, 也存在很多种方法, 大多针对恢复最多负荷和最小开关数, 其中有混合整数优化^[7,8]、分支定界^[9]、专家系统^[10]、启发式搜索^[11,12]、遗传算法^[6,13,14]、Petri-Net^[15,16]等。N. D. R. Sama 提出了一种简化网络结构以及根据简化的

网络搜索供电路径的算法^[17]。Aoki et al 提出了一种非组合方式的, 考虑负荷转移后约束越界减少量和剩余越界量两项指标的梯度算法^[12]。Dialynas 和 Michos 提出了一种基于图论的方法, 这种算法要求已知在各种运行方式下从所有电源点到每个负荷点的最小路径^[18]。以上方法有很多是将配网中的开关状态作为控制变量进行求解, 这种算法在判断约束条件时需要反算负荷的状态。另外也有一些文献研究针对最小网损、最小压降等的供电路径搜索。

本文将恢复目标分等级进行优化, 即满足第一目标最优的情况下存在多个恢复方案时才进行第二目标的优化。本文使用负荷树来表示配网运行方式, 避免判断约束条件时反算负荷状态。以往的配网恢复大多没有考虑修复故障时间和负荷的变化规律, 而仅考虑故障前配网的运行状态, 以此作为负荷大小和联络开关容量冗余的依据。而实际运行当中, 由于故障可能无法短时间内修复, 配网当中的负荷会按本身的规律进行变化, 不同的负荷的峰荷和谷荷经常不在同一时刻发生, 使得在选择相邻馈线转移负荷时可以按错峰的标准进行优化配置。因此有必要考虑它对供电恢复的影响。另外, 由于电力设备都具有一定的过载能力, 使得在紧急或较为重要的场合可以有更多的选择方案。在本文中, 假定设备可以承受一定时间内的一定量的过负荷, 从而增多了可恢复负荷和可行方案。

1 配电网恢复问题描述

以下首先定义几个常用名词

联络开关: 常开的连接两条馈线的开关;

故障区: 馈线中发生永久故障的区域;

非故障失电区: 馈线中故障区域下游, 可通过断开一个常闭开关与故障区域隔离;

相邻馈线:与失电或过负荷馈线通过联络开关连接的馈线;

二级馈线:有开关与相邻馈线相连,但与故障或过负荷馈线之间无开关相连的一馈线;

边界开关:连接失电区域或过负荷的区域和可供负荷转移区的常开开关;

分段开关:连接两个失电负荷的常闭开关。

在配电网中某条馈线出现故障后,通常首先断开该馈线出口断路器,其次通过分段开关隔离故障,再通过断路器重合闸恢复故障上游区的供电。这样故障下游区的负荷就需通过开关操作转移到其他馈线上。配网中的输电线、开关有一定的容量。虽然设备应该尽量避免过载,但恢复方案中的运行状态其实是一种暂时的非正常运行状态,对设备的寿命影响多数情况下可以忽略,所以很多情况下允许短时过载^[19],根据设备特性可以归纳出每个设备允许过载量与过载时间的关系,即在一定过载量的情况下允许一定时间内的过载。设备的实际过载量取决于两个因素:负荷的变化曲线和排除故障的时间。每个负荷的大小在故障修复期间不是固定的,按照负荷曲线变化。制定供电恢复方案即按照给定的排除故障所需时间,求解使目标函数最小的方案。配网恢复方案的制定一般包括两个步骤:确定目标运行方式和确定操作步骤。通常对配网恢复方案的评价指标有以下几种:

尽可能多地恢复负荷,必要时对负荷进行加权恢复;

尽量减少恢复过程的开关操作;

减少设备过载。

以上目标的优先级为递减顺序。本文认为目标1是绝对优先的,即恢复方案首先应恢复最多的负荷。其次是目标2,因为减少开关操作可以减少恢复时间,尤其是在自动开关较少的配电网中是一个很重要的指标。再次是目标3,虽然设备有一定的过载能力,但是为了不使其寿命降低过多应尽量避免过载。

配网恢复需考虑的约束条件包括:

设备过载约束:在一定过载量指标的情况下小于允许的过载时间;

保证配网的辐射状拓扑结构,每个负荷只能由一条馈线供电;

节点电压在允许范围内。

2 配电网恢复数学模型

根据以上的问题描述可用数学公式表示为:

1) 目标函数为三级目标

a 最少切负荷量

$$f = \min \left\{ \sum_{i=1}^{N_c} C_l z_i \int_0^{T_b} I_i dt \right\} \quad (1)$$

其中: I_i 为负荷 i 的大小,是时间 t 的函数,折算为电流值; T_b 为故障修复时间,则 $\int_0^{T_b} I_i dt$ 为停电时间内负荷用电量; C_l 为负荷 i 的权重; z_i 表示负荷 i 的状态,为 1 表示被恢复,为 0 表示未恢复; N_c 为负荷数量。

b 最少开关数

$$f = \min \left\{ \sum_{i=1}^{N_{op}} C_i \right\} \quad (2)$$

其中: C_i 为开关 i 操作的花费; N_{op} 为操作的开关数量。

c 设备过载时间最小

$$f = \min \left\{ \sum_{i=1}^{N_c} COL_i \right\} \quad (3)$$

其中: COL_i 为设备 i 的过载时间; N_c 为边界开关数量。

2) 约束条件

a 设备容量约束,其中冗余容量应按相关开关、线路、母线、变压器等的最小冗余容量计算

过载上限约束

$$\sum_{i=1}^{N_c} I_i v_{ij} \leq I_{cj} \quad (4)$$

其中: I_{cj} 为考虑过载的元件 j 的可增加最大负荷量, v_{ij} 为 1 时表示负荷 i 由元件 j 供电,为 0 时表示不由元件 j 供电。

允许一定时间内一定的过载量

$$\int_0^{T_b} u \left(\sum_{i=1}^{N_c} I_i v_{ij} - I_{ej} \right) < tol_j \quad (5)$$

其中: tol_j 为元件 j 允许的过载时间; T_b 为故障修复时间,即配网恢复正常运行方式所需时间; $u(x)$ 为阶越函数, x 为正时等于 1,其余为 0; I_{ej} 为元件 j 额定运行时可增加的负荷量。

具体应用时,可将负荷变化曲线离散化成若干个,相邻点时间间隔为 t_d ,则判断是否存在 $\left[\frac{tol_j}{t_d} \right]$ 个时间点使设备过载,如果不存在则认为约束条件满足,否则认为不满足约束条件。如果修复故障时间很短,认为负荷没有变化,或者设备允许过载时间大于修复故障时间,则可认为负荷 I_i 为常数,这就退化为不考虑负荷变化的供电恢复问题。

b 辐射状约束

$$\forall i, j, T_i \cap T_j = \emptyset \quad (6)$$

其中: T_i 为元件 i 所带负荷的集合。

c 节点电压约束

$$V_{\min i} < V_i < V_{\max i} \quad (7)$$

其中: $V_{\min i}, V_{\max i}$ 分别为节点 i 允许的最大电压和最小电压。

3 求解算法

3.1 配网结构的表示方法

将配网的开关看作边,将开关之间的负荷看作节点,则配网结构可以表示成一个图 $G = (N, E)$,其中 $N = \{v_1, \dots, v_n\}$ 表示非空有限节点集^[20]。 E 表示有限无序的边集,边可以用节点对 $\{v_i, v_j\}$ 来表示。一般情况下,配网采用开环运行方式,每条馈线所加载的负荷可以看作一棵负荷树,负荷树的根节点即电源点。不同的负荷树对应着不同的运行方式。所有馈线对应的负荷树构成一种配网运行方式。

形如 $\{v_0, v_1\}, \{v_1, v_2\}, \dots, \{v_{n-1}, v_n\}$ 的边序列称为一条路径,其中所有节点不相同的路径称为道路。可以证明,对于一棵树,断开其上任意边,将生成两个无环图,其中一个不包含原来的根节点;连接两棵树间的一条边,将生成一个无环图。图 1 为配电网结构示例图,其中矩形表示断路器,实心圆表示闭合的开关,空心圆表示开断的开关,短线表示负荷。 S_1 所加载的负荷可以表示为两条道路: (1, 13), (1, 2, 3, 4), 这两条道路构成一个负荷树。

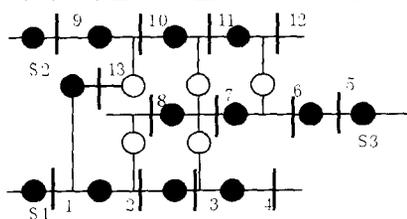


图 1 某配电网结构图

Fig 1 Example of a distribution system

3.2 故障恢复求解算法

配电网故障恢复方案的求解可以看作是一个约束满足问题 CSP (Constraint Satisfaction Problem)。回溯算法在求解这类问题的研究中得到较为广泛的讨论。以下给出 CSP 问题的形式化定义。

一个约束满足问题,或称约束网络可以表示为一个三元组: $P = (X, D, C)$, 其中 $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ 表示 n 个变量组成的集合,在配网恢复中, x_i 可以看作是元件 i 加载的负荷集,每个 x_i 属于一个值域 D_i , X

对应值域集 $D = \{D_1, \dots, D_n\}$; $C = \{R_1, \dots, R_c\}$ 表示具有 c 个元素的约束集,内容包括以上介绍的数学模型中的所有约束条件。

回溯算法是解决约束满足问题的主要方法。它以深度优先的方式遍历搜索空间。该算法在搜索中保持一个搜索深度 $depth$ 来表示在搜索空间的状态。回溯包括两个阶段:前向阶段,用于选择一个未赋值的变量进行赋值;后向阶段,用于取消先前给某个变量的赋值并恢复当时状态。广义回溯中前向阶段的变量的赋值顺序是动态的,后向阶段的回跳位置也是动态的。这两个过程都可以利用启发式规则进行搜索路径优化。

通常的配网恢复知识库中都包含有以下或类似规则^[3]。

规则 1:如果相邻馈线有足够的容量恢复整个失电区,则直接闭合联络开关恢复供电。

规则 2:规则 1 条件不满足时,将负荷分为两类,类型 1 为可以通过闭合边界开关进行恢复的负荷,类型 2 为不能通过闭合边界开关进行恢复的负荷。

规则 3:如果相邻馈线的容量可以恢复全部类型 2 的负荷,则闭合联络开关恢复全部类型 2 的负荷,同时断开与类型 1 负荷相连的开关。类型 1 负荷由其对应的边界开关恢复。

规则 4:如果相邻馈线恢复所有类型 2 负荷后有多余的容量,则再由它恢复尽可能多的类型 1 负荷,剩余的类型 1 负荷由其对应的边界开关恢复。

规则 5:如果相邻馈线容量不能恢复所有类型 2 负荷,则尽可能多地恢复类型 2 负荷。如果之后仍有多余容量的话,再恢复尽可能多的类型 1 负荷。

本文采用以上的规则确定搜索中前向搜索的方向。应该指出,以上规则得到的方案未必是最优的,它仅在所有联络开关和边界开关的供电路径互不重叠、各开关冗余容量相互独立的情况下才能得到最优解。尽管如此,以上规则仍然可以在多数情况下得到较优解。负荷转移的问题类似于带约束条件的多维背包问题^[12],其启发式搜索方法在很多文献中都有讨论。本文采用回溯方法对搜索结果进行优化。回溯方法即深度优先的搜索算法,其算法在邻接表表示的图形遍历中有着广泛的应用,已经相当成熟。在硬件条件较差的情况下只进行较少的回溯,在硬件条件提高的情况下可以进行更多的回溯。

本文的算法流程图如图 2 所示,运算的详细过程描述如下(假定图 1 所示的配网中负荷都处于停电状态,需要使用 S_1, S_2, S_3 来恢复供电):

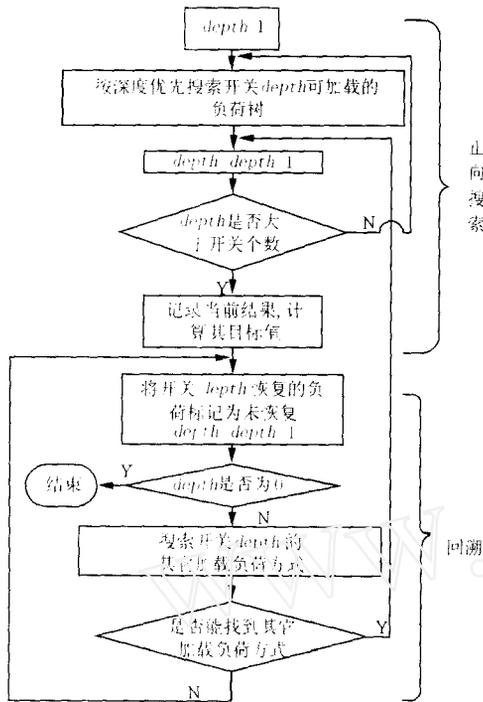


图 2 算法流程图

Fig 2 Flow chart of the algorithm

按照以上的启发式搜索规则作为前向搜索的方向,确定一个初始配网重构方案。将当前的搜索深度置为 n (即开关数)。比如 S_1 为联络开关,则首先搜索 S_1 能够恢复的负荷,如果 S_1 能够恢复所有负荷,则搜索结束;如果 S_1 不能恢复所有负荷,则搜索 S_1 能够恢复的类型 2 的负荷……这样直至确定完 S_1, S_2, S_3 各自恢复的负荷。

取消开关 $depth$ 恢复的负荷,将其恢复的负荷标记为未恢复,将 $depth$ 减 1,如果 $depth = 0$,则结束。如在图 1 中取消 S_3 恢复的负荷 (5, 6, 7, 8),将这些负荷标记为未恢复。

搜索开关 $depth$ 的其它加载负荷方式,即从变量 X_{depth} 的值域 D_i 中查找下一个符合约束条件的值。

如果步骤 3 成功,则将 $depth$ 加 1,转 3;如果步骤 3 不成功,转 2。

4 案例

图 3 为某地区配网接线示意图。假定在 H 点发生故障, S_1, S_2 断开隔离故障,导致 19 个负荷停电,所有负荷权重相等,每个开关操作的等效费用相等。共有 8 个边界开关可提供电源。预计故障需要 10 h 修复,每个边界开关均只允许 30 A 的过载量,过载时间在 3 h 以内。表 1 列出负荷变化曲线数据

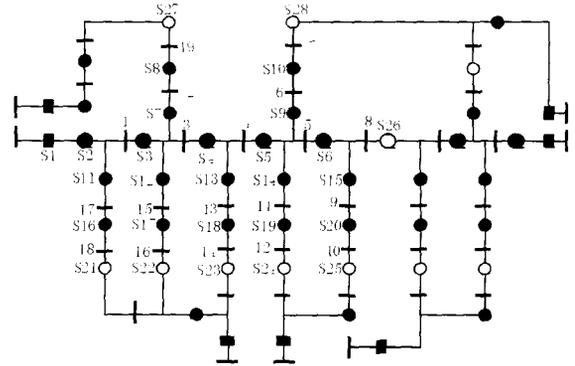


图 3 某配网接线图

Fig 3 Connection of a distribution network

(10 个采样点,每小时一个采样点)和边界开关冗余容量,均折算为电流值。负荷预测点为 10 个。应用以上介绍的方法进行求解。按表 1 的负荷数据和开关冗余容量,遍历所有可能解,求得在设备不过载情况下存在 1 个恢复所有负荷的方案,开关数为 15。而由本文假定的目标函数在考虑完恢复最多负荷后其次应考虑开关数是否最小。在考虑设备过载的情况下,求得恢复所有负荷的方案为 153 个。最小开关数为 11,其方案个数为 3 个。按最小过载时间求得的最优解为:

开关数: 11

S_{21} 号开关所带负荷: 18, 17, 1, 过载 2 h

S_{22} 号开关所带负荷: 16, 15, 3, 不过载

S_{23} 号开关所带负荷: 14, 13, 4, 不过载

S_{24} 号开关不带负荷

S_{25} 号开关所带负荷: 10, 9, 不过载

S_{26} 号开关所带负荷: 8, 5, 6, 11, 7, 12, 过载 2 h

S_{27} 号开关所带负荷: 19, 2, 不过载

S_{28} 号开关不带负荷。

形成的临时运行方式如图 4 所示。

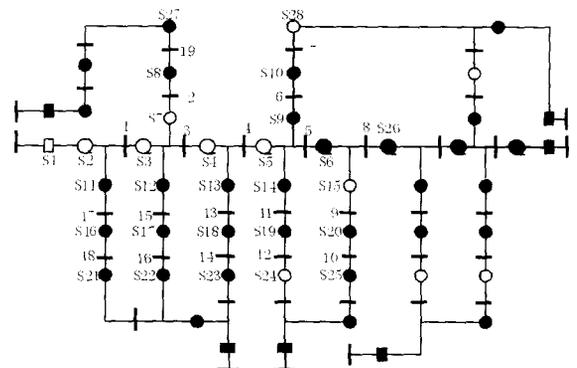


图 4 故障配电网的临时运行方式

Fig 4 Temporary running mode of the faulted distribution network

表 1 负荷变化曲线和边界开关冗余容量

Tab 1 Varying curve of loads and the capacity margin of the supporting feeders

| 编号 | 负荷变化曲线 /A |
|----|--|
| 1 | (24, 21, 34, 33, 32, 29, 35, 20, 15, 9) |
| 2 | (29, 26, 23, 21, 20, 17, 15, 16, 18, 23) |
| 3 | (20, 21, 23, 25, 28, 33, 36, 35, 30, 21) |
| 4 | (13, 14, 15, 17, 19, 23, 25, 24, 21, 15) |
| 5 | (21, 27, 30, 29, 28, 26, 22, 18, 13, 7) |
| 6 | (28, 36, 39, 38, 37, 34, 29, 24, 18, 11) |
| 7 | (18, 16, 14, 12, 11, 9, 8, 8, 10, 13) |
| 8 | (27, 23, 21, 20, 19, 16, 14, 15, 17, 22) |
| 9 | (35, 45, 49, 48, 46, 42, 37, 31, 23, 14) |
| 10 | (18, 24, 27, 26, 25, 22, 19, 15, 11, 6) |
| 11 | (17, 18, 20, 22, 25, 29, 32, 31, 26, 18) |
| 12 | (14, 19, 21, 21, 20, 18, 15, 12, 8, 4) |
| 13 | (17, 23, 25, 25, 24, 22, 18, 14, 10, 5) |
| 14 | (14, 15, 17, 19, 21, 25, 27, 26, 22, 15) |
| 15 | (11, 12, 13, 14, 16, 20, 22, 21, 18, 12) |
| 16 | (17, 15, 13, 12, 11, 9, 7, 7, 9, 13) |
| 17 | (14, 19, 21, 20, 19, 17, 14, 11, 7, 3) |
| 18 | (10, 14, 15, 15, 14, 12, 10, 7, 4, 0) |
| 19 | (36, 45, 49, 48, 47, 43, 37, 31, 24, 16) |

开关冗余容量 (S21: 66 A, S22: 89 A, S23: 88 A, S24: 74 A, S25: 98 A, S26: 140 A, S27: 85 A, S28: 78 A)

5 结束语

本文介绍了一种考虑负荷变化和设备过载能力因素的多目标启发式配电网供电恢复算法,该算法采用启发式搜索优化了初始搜索解,采用回溯算法作为进一步优化的方案。最后的算例证明了本算法的有效性。由于考虑了修复故障期间的负荷变化使方案更接近于实际,并可运用于考虑冷负荷情况下的配网供电恢复。由于考虑了设备的过载能力,使得有更多更合理的恢复方案供选择。回溯算法是一种有序搜索算法,与遗传算法等智能算法相比,比较适合于小规模配网恢复计算。

参考文献:

- [1] LI Wei-xing, WANG Peng, LI Zhi-min, et al Reliability Evaluation of Complex Radial Distribution Systems Considering Restoration Sequence and Network Constraints [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2004, 19 (2): 753-758
- [2] Popovic D S, Popovic Z N. A Risk Management Procedure for Supply Restoration in Distribution Networks[J]. IEEE Trans on Power System s, 2004, 19 (1): 221-228
- [3] HUANG Chao-ming Multiobjective Service Restoration of Distribution Systems Using Fuzzy Cause-effect Networks [J]. IEEE Trans on Power System s, 2003, 18 (2): 867-874.
- [4] ZHOU Qin, Shimohammadi D, Liu W H E Distribution Feeder Reconfiguration for Service Restoration and Load Balancing[J]. IEEE Trans on Power System s, 1997, 12 (2): 724-729.
- [5] HSU Yuan-yih, KUO Han-ching A Heuristic Based Fuzzy Reasoning Approach for Distribution System Service Restoration[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1994, 9 (2): 948-953.
- [6] Hsiao Y T, Chien C Y. Enhancement of Restoration Service in Distribution Systems Using a Combination Fuzzy-GA Method[J]. IEEE Trans on Power System s, 2000, 15 (4): 1394-1400.
- [7] Aoki K, Kuwabara H, Satoh T, et al Outage State Optimal Load Allocation by Automatic Sectionalizing Switches Operation in Distribution Systems [J]. IEEE Trans on PWRD, 1987, 2 (4): 1177-1185.
- [8] Aoki K, Satoh T, Itoh M et al Voltage Drop Constrained Testoration of Supply by Switch Operation in Distribution Systems [11]. IEEE Trans on PWRD, 1988, 3 (3): 1267-1274.
- [9] Nahman J, Strbac G A New Algorithm for Service Restoration in Large-scale Urban Distribution Systems [J]. Electric Power System s Research, 1994, 29.
- [10] Nagata T, Sasaki H, Yokoyama R. Power System s Restoration by Joint Usage of Expert System and Mathematical Programming Approach [J]. IEEE Trans on PWRD, 1995, 10 (3): 1473-1479.
- [11] Morelato A L, Monticelli A J. Heuristic Search Approach to Distribution System Restoration [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1989, 4 (4): 2235-2241.
- [12] Aoki K, Nara K, Itoh M, et al A New Algorithm for Service Restoration in Distribution Systems [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1989, 4 (3): 1832-1839.
- [13] Bretas N G, Delbem A C B, de Carvalho A. Optimal Energy Restoration for General Distribution System by Genetic Algorithms [A]. International Conference on Power System Technology. Beijing (China): 1998.
- [14] Fukuyama Y, CHANG Hsiao-dong A Parallel Genetic Algorithm for Service Restoration in Electric Power Distribution Systems [A]. International Joint Conference of the Fourth IEEE International Conference on Fuzzy System s and the Second International Fuzzy Engineering Symposium. Proceedings of 1995 IEEE International Conference on Fuzzy System s 1995. 275-282.

- [15] WU Jaw-shyang A Petri-net Algorithm for Multiple Contingencies of Distribution System Operation [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1998, 13 (3): 1164-1171.
- [16] CHEN Chao-shun, LN Chia-hung, TSAI Hung-ying A Rule-based Expert System with Colored Petri Net Models for Distribution System Service Restoration [J]. IEEE Trans on Power Systems, 2002, 17 (4): 1073-1080.
- [17] Sama N D R, Prasad V C, Prakasa R, et al A New Network Reconfiguration Technique for Service Restoration in Distribution Networks [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1994, 9 (4): 1936-1942.
- [18] Dialynas E N, Michos D G Interactive Modeling of Supply Restoration Procedures in Distribution System Operation [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1989, 4 (3): 1847-1854.
- [19] Dumbrava V, Comanescu G, Coculescu S Reconfiguration of the Operation Diagrams of Urban Electricity Distribution Networks by Minimizing the Energy Losses [A]. 16th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution 2001.
- [20] Delbem A C B, de Carvalho A, Bretas N G Optimal Energy Restoration in Radial Distribution Systems Using a Genetic Approach and Graph Chain Representation [J]. Electric Power Systems Research, 2003, 67 (3): 197-205.

收稿日期: 2004-12-14; 修回日期: 2005-04-11

作者简介:

刘 栋 (1979 -), 男, 博士研究生, 主要从事电力系统恢复方面的研究; E-mail: wanderld@163.net

沈 广 (1974 -), 男, 博士研究生, 工程师, 从事电力系统恢复方面的研究;

樊友平 (1970 -), 男, 博士后, 研究方向为人工智能与知识工程、复杂系统建模与控制理论。

Multiobjective service restoration in distribution network considering load varying and overload ability of equipments

LU Dong, SHEN Guang, FAN You-ping

(College of Electric Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: This paper introduces a multi-objective model of distribution service restoration. The model takes account of the load varying during the repair of the fault and the overload ability of supporting equipments. The multiple objectives include three levels of indices: maximizing restored load quantity, minimizing number of switching operations and minimizing overload. The heuristic search algorithm is employed to find the solution and the back tracking algorithm is adopted to optimize the final solution. The given example of application demonstrates the validity of this model.

Key words: service restoration; heuristic search; back tracking; overload ability of equipment; load varying

(上接第 16 页 continued from page 16)

An improved short data window full-wave Fourier algorithm for completely filtering decaying DC component

QI Xian-jun, DING Ming, WEN Yang-dong

(Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: The full-wave Fourier algorithm used in computer-based relay protection is derived with periodic function model. But when the input signal is no longer the periodic function for the existing of DC component, the full-wave Fourier algorithm will have higher error. An improved algorithm is proposed in this paper, which can compensate the decaying DC component and completely filter it theoretically, without knowing the decaying time constant or adding sample point.

Key words: full-wave Fourier algorithm; decaying DC component; computer based relay protection