

文章编号: 1006-4729(2008)03-0211-04

基于拓扑搜索的配电网故障重构系统的实现

金义雄¹, 李永健², 徐伟³, 靳希¹

(1 上海电力学院 电力与自动化工程学院, 上海 200090 2 江苏连云港供电公司, 江苏 连云港 222004
3 安徽六安供电公司, 安徽 六安 237000)

摘要: 分析了配网重构两类方式的优缺点, 主要研究了集中式配网重构的方法, 提出了基于拓扑搜索的配电网故障重构算法. 该方法的特点是直观, 计算速度快, 可得出多种故障恢复方案供调度员选择. 同时, 也给出最优方案建议. 基于该算法, 采用 VC++6.0 编程和图模一体化技术, 开发了配网故障重构系统.

关键词: 故障重构; 深度优先搜索; 广度优先搜索; 图模一体化技术

中图分类号: TM727.2 TP277 文献标识码: A

Distribution Network Reconfiguration and Its Implementation Based on Topology Search

JIN Yixiong, LI Yongjian, XU Wei, JIN Xi

(1. School of Electric Power and Automation Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China; 2. Jiangsu Lianyungang Power Company, Lianyungang 222004, China; 3. Anhui Lu'an Power Company, Lu'an 237000, China)

Abstract: The merits and flaws of two methods of distribution network reconfiguration are analyzed and a centralized reconfiguration method is discussed. A distribution network reconfiguration method based on Topology Search is put forward which is intuitionistic, fast and able to provide several plans to distributor, including a proposal plan. Based on this method, a practical system is programmed in VC++6.0 and chartmodule integration technique is integrated in this system.

Key words: distribution network reconfiguration; depth-first topology search; width-first topology search; chartmodule integration technique

1975年由英国人 Merlin A和 Back H首次提出配网重构的概念. 配电网重构又称配电网组态, 或配电网馈线组态、配电网馈线重构等. 在保证配网呈辐射状、满足馈线热容、电压降落要求和变压器容量等的前提下, 改变分段开关、

联络开关的组合状态, 把一段线路中的负荷通过开关的切换转移到不同的电源供电, 使配网指标最优化, 而负荷移动的这个过程就被称为配电网重构. 其目的是通过网络开关的优化组合来达到降低网损、平衡负荷、提高电能质量和供电可靠

收稿日期: 2008-07-09

作者简介: 金义雄 (1977-), 男, 博士, 浙江东阳人. 主要研究方向为电网规划、负荷预测、无功优化、电压稳定等.
E-mail: jyxjt@163.com

基金项目: 上海市教委科研项目 (07ZZ45); 上海高校选拔培养优秀青年教师科研专项基金; 上海市教委重点学科建设项目 (J1301); 上海市电站自动化技术重点实验室项目.

性等目标.

配电网重构有两种过程:一种是对正常运行的电网的负荷调整;另一种则是线路故障后的网络重构.早期的配电网重构主要研究配网规划阶段的配电网重构问题.近几年,逐步有学者研究在配电自动化系统中加入网络重构,研究结果表明,配电网重构不仅在经济和技术上可行,而且可以极大地优化配电系统的运行.

1 网络重构模式

在当前的配网馈线自动化 (Feeder Automation, FA)中,网络重构具有 5 种典型模式:即分布智能式 FA 模式、智能子站 FA 模式、重合器方式 FA 半自动 FA 模式、人工 FA 模式.

5 种方式又可概括为两种方式,即分布式 (前 3 种)和集中式 (后 2 种).

两种方式各有优缺点.分布式网络重构结构简单,建设费用低,但仅在故障时起作用,正常时不能起监控作用,因而不能优化运行方式;恢复健全区块时,无法采取安全及最优措施.而集中式网络重构可在故障时隔离故障区域,正常时监控配网运行,可以优化运行方式,实现安全经济运行;也可灵活适应各种运行方式,恢复控制兼顾安全性及最优性,可以和 GIS/MIS 联网,实现全局信息化.其缺点是结构复杂,建设费用高,必须建设通信网络,还需要开发后台分析软件.

针对配电网的结构特点,一些专家学者相继提出了各种方法,包括最优流模式法^[1]、模拟退火法^[2]、遗传算法^[3]、人工神经网络法、支路交换法^[4]、粒子群算法^[5]、专家系统法、蚁群算法、Tabu 搜索等.本文将提出一种基于拓扑搜索法的配网故障重构方法,该方案的特点是直观,计算速度快,且可得出多种故障恢复方案供调度员选择,也给出了最优方案建议.

2 拓扑搜索

拓扑搜索可以分为广度搜索优先和深度搜索优先两种模式.所谓广度搜索优先是每次搜索指定点,并将其所有未访问过的近邻加入搜索队列,循环搜索过程直到队列为空.在深度优先搜索中,对于最新发现的顶点,如果还有以此为起点而未探测到的边,就沿此边继续下去.当某结点 A 的所有边都被探寻过,搜索将回溯到发现结点 A

和那条边的起始结点.这一过程一直进行到已发现从源结点可达的所有结点为止.如果还存在未被发现的结点,则选择其中一个作为源结点并重复以上过程,整个进程反复进行直到所有结点都被发现为止.

广度搜索优先的实现可采用遍历法,而深度搜索优先可采用递归法.由于配网结构多数为树状网络,而非网格状网络,采用深度搜索优先法容易搜索出某一纵深路径,从而易于搜索到故障恢复的某一路径.

3 配网恢复策略算法

当配网发生故障时,可以将整个故障配网子系统分为 3 个部分:故障上游区;故障区;故障下游区.要首先探测出故障区,然后再对供电子系统中的所有元件进行一次深度优先的搜索,得到所有的失电区.对故障上游区而言,上溯干线支路找到电源干线,合上该电源干线的断路器即可恢复对故障上游区的供电.对故障区而言:将故障线路两侧开关拉开,隔离故障,然后通知电力公司专业人员处理即可.对故障下游区而言:进行一次搜索,得出失电区所有的供电恢复路径集合,然后综合考虑网络过负荷限制和线路损耗最小,以进行供电恢复路径的寻优.某 10 kV 配网系统如图 1 所示,接线方式为多分段多联络方式.

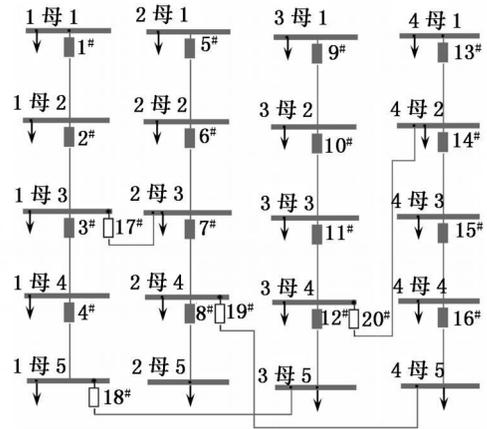


图 1 10 kV 配网系统示意

图 1 中正常运行时由最上方 4 条来自变电站的 10 kV 侧母线供电,开关 17[#]至 20[#]为联络开关,处于打开状态,其余分段开关均处于闭合状态.假设母线 3 母 3 发生永久故障,经故障判断后拉开分段开关 10[#]和 11[#],对故障进行隔离.然后以母线 3 母 3 为起点,对整个配电系统进行深度优先

拓扑搜索, 得到所有失电区. 对故障上游区而言, 上溯干线支路找到电源干线 3 母 1, 合上该电源干线的断路器即可恢复对故障上游区的供电.

对故障下游区而言, 搜索所有可能的恢复路径集合: 集合 1——合上开关联络开关 18[#]; 集合 2——合上联络开关 20[#]; 集合 3——合上联络开关 18[#]和 20[#]. 由于不能形成环网, 则断开分段开关 12[#], 然后计算每一个集合是否过负荷, 若过负荷则排除该恢复路径, 若没有过负荷则计算网损, 选择最小网损指标的恢复路径.

4 算法实现

基于拓扑搜索法的故障恢复原理框图如图 2 所示.

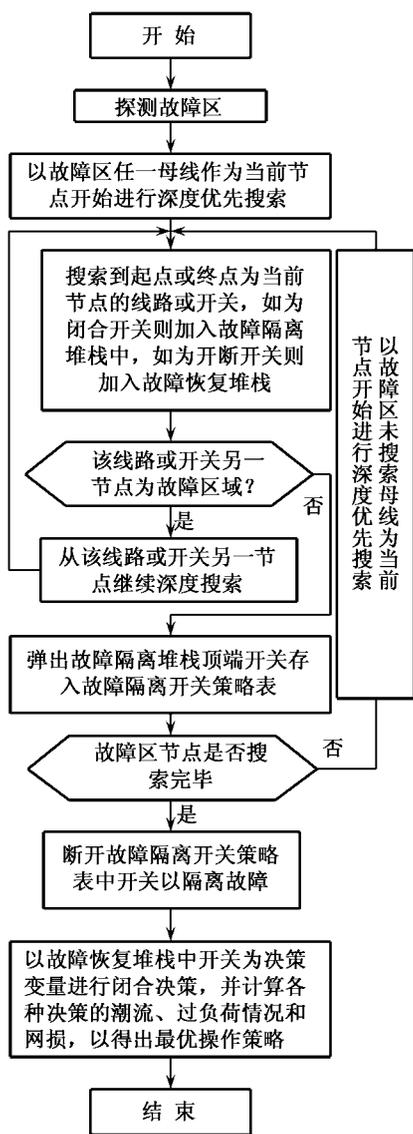


图 2 基于拓扑搜索法的故障恢复原理示意

其中最后一步“以故障恢复堆栈中开关为决策变量进行开关闭合决策”所采用的方法为枚举法, 因为故障恢复堆栈中开关一般仅有 3~5 个, 所以枚举法在速度上是可以保证的. 也可采用其他优化方法, 如粒子群算法, 以最小化网损为目标函数进行恢复策略优化.

5 编程实现及算例分析

基于面向对向语言 VC++ 进行开发, 采用模块化设计, 主要由实体库、用户图形接口 (Graphical User Interfaces, GUI) 模块、系统数据处理维护模块、拓扑分析模块、网络分析计算模块、报表及打印模块等构成. 用户图形接口由 4 个框架组成, 即菜单工具栏、图元分类列表区、图元属性维护区、图元绘制区.

自动拓扑是程序的一大特色, 也是图模一体化实现的关键. 以往电网计算分析软件通常需人工输入网络拓扑和系统参数等. 自动拓扑采用深度广度搜索法, 通过某元件的端口在电网接线图的坐标值, 来判断该元件和哪些元件相连, 形成支路汇总信息.

本文给出了两个故障算例, 其分析结果如表 1 和表 2 所示.

表 1 故障算例 1

恢复方案	操作	网损 /MW	网损率 /%
方案 1	合上 18 [#] 开关	0.348	2.27
方案 2	合上 18 [#] , 17 [#] 开关, 开断 3 [#] 开关	0.281	1.84
方案 3	合上 17 [#] 开关	0.274	1.79

表 2 故障算例 2

恢复方案	操作	网损 /MW	网损率 /%
方案 1	合上 18 [#] 开关	0.255	1.67
方案 2	合上开关 18 [#] , 20 [#] , 开断 12 [#] 开关	0.206	1.35
方案 3	合上 20 [#] 开关	0.188	1.24

其中, 表 1 的故障母线集为 1 母 2, 隔离故障采用开断开关 1[#]和开关 2[#];

表 2 的故障母线集为 3 母 3, 隔离故障采用开断开关 10[#]和开关 11[#].

由表 1 可知, 建议采用方案 3 合上开关 17[#].

由表 2 可知, 建议采用方案 3 合上开关 20[#].

6 结 论

本文提出了基于拓扑搜索的配电网故障重构算法,该方法以深度优先搜索算法为基础,对配网进行快速重构,可提出多种可选重构预案以供调度人员选择,并给出每种方案的操作过程,过负荷情况及重构后的网损情况.根据该算法开发了图模一体化故障恢复系统,该系统已经在安徽六安电力公司得到了应用,该系统的应用使电网运行的安全性和可靠性得到了很大提高,从而大大降低了劳动强度.

参考文献:

- [1] 张步涵,沙立华,曾次玲.随机生成树方法在配网重构随机搜索算法中的应用[J].水电能源科学,2004,22(1):80-82
- [2] 毕鹏翔,刘健,张文元.配电网重构的改进支路交换法[J].中国电机工程学报,2001,21(8):98-103
- [3] 欧阳帆,刘东,廖怀庆,等.基于CM的配电网重构的并行遗传计算[J].华东电力,2008,31(1):71-75
- [4] 李中建,丁坚勇.一种实用的配电网重构算法研究[J].广西电力,2004,(4):4-6
- [5] 许立雄,吕林,刘俊勇.基于PSO的配网重构与电容器投切综合优化算法[J].继电器,2006,34(17):25-33

(上接第 206 页)

参考文献:

- [1] DEPENBROCK M. Direct Self Control(DSC) of inverter fed induction machines[J]. IEEE Trans on PE, 1988, 3(4):420-429
- [2] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统:第3版[M]. 北京:机械工业出版社,2003:190-210
- [3] 李夙. 异步电动机直接转矩控制[M]. 北京:机械工业出版社,1994:70-100.
- [4] ZIDANIE D,ALLO D, BENBOUZ D,MEH et al. Direct Torque Control of induction motor with fuzzy stator resistance adaptation[J] // IEEE Transactions on Energy Conversion, 2006:619-621.
- [5] LA KOANG KYUP, SHN MYOUNG H, HYUN DONG SEOK. Direct Torque Control of induction motor with reduction of torque ripple [J] // 26th Annual Conference of the IEEE, 2000, (2):1087-1092