

应用最小路—广度优先搜索的配电系统可靠性评估

郭慧敏

(内蒙古一机集团宏远电器有限公司, 内蒙古 包头 014030)

摘要: 配电系统可靠性是电力系统可靠性的一个重要组成部分, 越来越为人们所关注。采用的最小路和广度优先搜索相结合的算法, 重点介绍了基于最小路的可靠性评估方法, 并以 C++ 语言编程实现广度优先搜索算法求取网络的最小路集。由于主馈线不同的接线方式对系统可靠性指标也会产生不同的影响, 针对某地区配电网络一次接线图进行可靠性评估。此方法能够同时考虑配电网络最小路上元件和非最小路上元件对负荷点可靠性指标的作用, 并充分考虑了分支线路、隔离开关、负荷开关和备用电源等的影响, 为工程技术人员准确地发现配电系统的薄弱环节提供了重要依据, 并验证了此算法的有效性。

关键词: 配电系统; 可靠性评估; 广度优先搜索; 最小路

Distribution system reliability assessment minimal path method-BFS

GUO Hui-min

(Innermongolia Hongyuan Electric Corporation, Baotou 014030, China)

Abstract: Distribution system reliability plays an important role in the modern society by supplying electric power for customers. This paper introduces the knowledge of minimum way of reliability assessment and the shortest way of finding the shortest route of maximum exploring by adopting C++ program. For the different connecting ways of main line may cause influence to the reliability indexes of the system, it compares and analyses all reliability indexes to the three different connecting ways. The assessing way considers the effects of elements on the minimum route and elements of non-minimum route on the burden point, and the influence of branch route, isolating switch, loading switch, planning check, the power in storage. It is helpful for engineers to find the problems in allocating system and take the corresponding measures.

Key words: power distribution system; reliability evaluation; BFS; minimal path methods

中图分类号: TM732; TM715 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2007)22-0014-04

0 引言

配电系统可靠性是指供电点到用户, 包括变电所、高低压线路及接户线在内的整个配电系统及设备按可接受的标准及期望数量满足用户电力及电能需求能力的度量。

由于配电系统处于电力系统的末端, 是整个电力系统与用户联系, 向用户供应电能和分配电能的重要环节。一旦配电系统设备发生故障或进行检修、试验, 就会同时造成系统对用户供电的中断。配电系统的可靠性指标实际上是整个电力系统结构及运行特性的集中反映。据不完全统计, 用户停电故障 80% 以上是由电力系统中的配电环节的故障引起的。也就是说, 配电系统对用户供电可靠性的影响最大。因此, 对配电系统可靠性的研究与应用和电力系统可靠性一样, 是保证供电质量、实现电力工业现代化的重要手段, 对促进、改善电力工业生产

技术和改造有着重要作用。配电系统可靠性问题已越来越为人们所关注。

对于配电网可靠性的评估方法已有许多研究, 在对配电系统可靠性的计算中, 本文使用了最小路和广度优先搜索相结合的方法, 分别考虑了最小路上的元件和非最小路上的元件对负荷点可靠性指标的作用, 并考虑了分支线路、隔离开关、负荷开关、计划检修、备用电源等的影响, 并通过对实际系统的应用证明此算法的有效性^[1~3]。

1 配电系统可靠性评估方法

配电系统可靠性的研究起步比较晚, 国内外学者提出了不少的关于配电网可靠性评估方面的模型和方法, 极大地推动了配电网可靠性的理论研究和实际应用。目前, 有关配电系统可靠性预测评估的方法很多, 可将其归为三类: 解析法、模拟法和人工智能算法。近年来, 又出现了将解析法和模拟法

相结合的混合法。

就解析法而言,是根据系统的结构和元件的功能以及两者之间的逻辑关系,建立系统的可靠性概率模型,然后通过递推或迭代等过程精确地求解此模型,从而计算出系统的可靠性指标。解析法的物理概念清晰、模型精度高,但计算量随着系统的增大而急剧增加,不易处理相关事件,只能考虑一个或有限个负荷水平,不能模拟实际的控制策略。解析法有表格法、故障模式及后果分析法、表格法、最小路法和最小割集法等。本文采用的是最小路的方法。

因此,应用解析法来分析复杂配电系统可靠性指标时所面临的重大难题就是在不失计算精度的前提下如何减少计算量,以提高计算速度。国内外学者在这方面做了大量的研究工作,并提出了许多具体的方法,它们有各自的优点,但都具有一定的应用范围,缺乏通用性和推广性。

2 最小路法

2.1 图的基本概念

图是节点和弧的集合;连接任意两节点间由有向弧或无向弧组成的弧的集合,称为这两个节点间的一条路。由输入节点到输出节点的所有路的集合,称为路集。如果一条路中移去任意一条弧后就不再构成路,则称这条路为最小路。由最小路构成的集合称为最小路集。

2.2 求网络最小路的方法

(1) 矩阵法

网络 S 的关联矩阵 C 为 $C = [c_{ij}]$, 其中

$$c_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{若节点 } i, j \text{ 之间无弧直接相连} \\ 1 & \text{若节点 } i, j \text{ 之间有弧相连} \end{cases}$$

(2) 布尔行列式

(3) 搜索法

本文采用搜索法求取最小路径,然后形成最小路矩阵。搜索法的基本思路是由网络的输入节点开始依次向输出节点搜索,找出全部最小路。利用搜索树的方法可以使得搜索过程变得条例清晰,简单可用^[4,5]。

2.3 广度优先搜索法 (BFS)

图的遍历就是从指定的某个顶点出发,按照一定的搜索方法对图中的所有顶点做一次访问的过程。根据搜索方法的不同,图的遍历有两种:一种叫做深度优先搜索遍历;另一种叫做广度优先搜索遍历。由于图的深度优先搜索遍历过程是递归的,效率比较低,

因而比非递归程序更费时间和空间^[6-8]。

BFS 类似于树的按层次遍历使用广度优先搜索在访问图中某一起始点 v 后,由 v 出发,一次访问 v 的各个未曾被访问过的邻接顶点 w_1, w_2, \dots, w_t , 然后再顺序访问 w_1, w_2, \dots, w_t 的所有该未被访问过的邻接顶点。再从访问过的顶点出发,访问它们的所有还未被访问过的邻接顶点,如此下去,直到图中所有顶点都被访问到为止。以图 1 的系统为例。

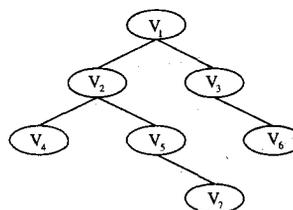


图 1 7 节点系统的无向图

Fig.1 Model of seven loads

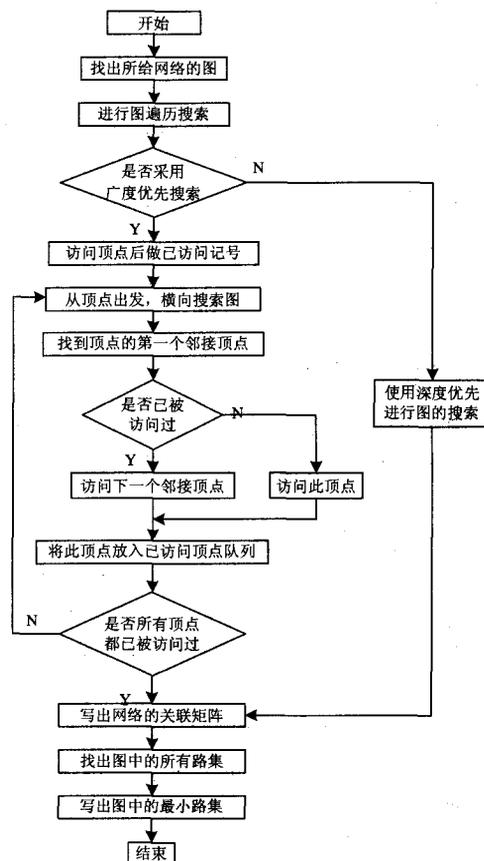


图 2 广度优先搜索流程图

Fig.2 Flow chart of BFS

BFS 算法的搜索过程是从 V_0 为起点。由近而远,按层次访问相接的节点,其搜索过程如下:

$$V_1 \rightarrow V_2 \rightarrow V_3$$

$$V_2 \rightarrow V_4 \rightarrow V_5 \rightarrow V_6$$

$$V_5 \rightarrow V_7$$

首先从首节点 V_1 开始, 搜索 V_1 的相邻节点, 因为 V_1 没有相邻节点, 接着搜索无向图的第二层, V_2 和它的相邻节点 V_3 , 然后搜索此无向图的第三层 V_4 及其相邻的节点 V_5 和 V_6 , 最后搜索第四层 V_7 节点, 直到所有的节点都搜索完成为止。

从这个例子我们可以看出, 在对系统图的搜索过程中, 比使用深度优先搜索法的循环次数要减少, 提高了搜索的速度, 同时也节省了搜索的时间和占用的空间。采用 C++ 实现, 其算法流程如图 2 所示。

2.4 本文使用的算法

根据配电系统的实际配置提出了一种基于最小路的可靠性评估算法。其基本思想是: 对每一负荷点求取其最小路, 根据网络实际情况将非最小路上的元件故障对负荷点可靠性地影响, 折算到相应的最小路节点上; 从而对每个负荷点的可靠性指标, 仅对其最小路上元件与节点进行计算即可得到负荷点相应的可靠性指标。

该算法考虑了分支线保护、隔离开关、分段断路器及计划检修的影响, 并且能够处理有无备用电源和有备用变压器的情况; 可以结合系统的实际配置, 并能指出系统的最薄弱环节, 但是对于由主馈线和分支线组成的相对复杂的系统, 其最小路的求解和简化分析工作非常复杂。

3 配电系统可靠性评估指标

配电系统可靠性指标主要是负荷点的可靠性指标, 本文采用的评估指标分为负荷点指标和系统指标。

3.1 配电系统可靠性指标

配电系统可靠性指标是用来定量评估配电系统可靠性的尺度。比较典型的有: 用户平均停电频率指标 CAIFI、用户平均停电持续时间指标 CAIDI、系统平均停电持续指标 SAIFI、系统平均停电持续时间指标 SAIDI、平均供电可用率指标 ASAI、平均供电不可用率指标 ASUI、系统平均缺点指标 ASCI、用户平均缺点指标 ACCI、总停电电量指标 ENS^[1, 2]。

3.2 负荷点的可靠性指标

配电设备可靠性指标一般有几项: 年故障停运率 λ (次/年); 平均停运持续时间 r (h/次); 年平均停运时间 U (h/年)^[2~4]。

4 实例计算与分析

以某地区的一个 35 kV 变电所为例, 来验证本

文所提出的方法。负荷点 6 个, 用户数 600 户。应用本文的上述算法, 其可靠性指标的评估结果列于表 1、表 2。经验证, 表中的数据准确可靠。

表 1 配电网部分各负荷点可靠性指标

Tab.1 Reliability indices of some load point

负荷点	年故障停运率 λ (次/年)	平均停运持续时间 r (h/次)	年平均停运时间 U (h/年)
3	1.462	2.525	3.692
4	1.474	3.215	4.739
5	1.713	4.914	8.418
6	1.725	5.281	9.1097
7	1.553	3.817	5.928
8	1.597	3.431	5.479
合计	9.524	3.923	37.3657

表 2 与用户有关的可靠性指标

Tab.2 Reliability indices of customer

指标名称	单位	计算结果
系统平均停电频率 SAIFI	次/户·年	1.3396
用户平均停电频率 CAIFI		3.215
系统平均停电持续时间 SAIDI	h/用户·年	5.3983
用户平均停电持续时间 CAIDI	h/停电户·年	12.956
总停电电量指标 ENS	度	8176.59
系统平均缺点指标 ASCI	度/用户	13.628
用户平均缺点指标 ACCI	度/受影响用户	32.706
供电可靠率 ASAI		0.9993838
不可靠率 ASUI		0.0006162

现以一条支路为例进行结果分析:

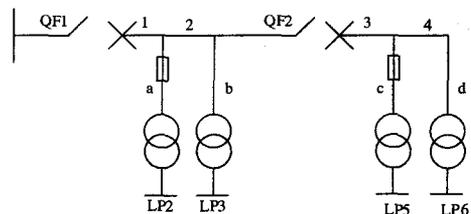


图 3 某一支路配电线路

Fig.3 One of distribution feeders

(1) 对于最小路上的元件, 无论是否有备用电源, 最小路上的每个元件发生故障或检修, 都会引起负荷点的停运。如图 3 中的负荷 3 最小路上的馈线和分支线停运都会导致负荷 3 停运。

(2) 对于非最小路上的元件, 分支线路如果有熔断器, 那么分支线上的元件发生故障时, 则不会影响其他分支线路的正常运行; 如果分支线路上没有熔断器等保护, 那么发生故障时负荷点的停运时间为开关或分段断路器的操作时间, 并且检修时不会引起前段负荷点的运行。如图 3 中的负荷点 5, 分熔断器的保护, 不会影响负荷点 2 和 3 的正常运行。

5 结论

本文使用广度优先搜索的方法来求系统的最小路,提高了对系统图的搜索效率,也提高了程序运行的时间和空间,并以实际的算例来验证了此方法是有效的。在可靠性计算过程中,同时考虑了最小路和非最小路元件的影响,分支线路、隔离开关、负荷开关、计划检修、备用电源等的影响,使评估结果更符合配电系统的实际运行情况,并且找到网络的薄弱线路和负荷,计算结果为电力部门在规划设计和改造时提供了依据。

参考文献

- [1] 郭永基. 电力系统可靠性原理和应用(上、下册)[M]. 北京:清华大学出版,1986.
GUO Yong-ji. A Theory and Application of Power System Reliability[M]. Beijing: Qinghua University Press,1986.
- [2] 陈文高. 配电系统可靠性实用基础[M]. 北京:中国电力出版社,1998.
CHEN Wen-gao.The Utility Basis of Power System Reliability[M].Beijing:China Electric Power Press,1986.
- [3] 谢羨州. 配电网可靠性的评估方法及提高[J]. 电力设备可靠性技术, 2004, 5(9):76-78.
XIE Xian-zhou.Reliability Improvement and Its Assessment Method for Distribution Network[J]. Electrical Equipment, 2004,5(9):76-78.
- [4] 郭永基. 电力系统可靠性分析[M]. 北京:清华大学出版

- 社,2003.
GUO Yong-ji.Power System Reliability Analysis[M]. Beijing:Qinghua University Press ,2003.
- [5] 疏松桂. 控制系统可靠性分析与综合[M]. 北京:科学出版社,1992.
SHU Song-gui.The Analysis of Control System[M]. Beijing:Science Press,1992.
- [6] 刘文洪. 配电系统可靠性评估的研究[D]. 西安:西安理工大学,2003.
LIU Wen-hong. The Research of Evaluation Distribution Systems[D]. Xi'an :Xi'an University of Science and Technology,2003.
- [7] 杜晓平. 配电系统可靠性评估算法的研究(硕士学位论文)[D]. 济南:山东大学,2005.
DU Xiao-ping.The Research of Evaluation Distribution Systems' Arithmetic,Thesis[D]. Jinan:Shangdong University, 2005.
- [8] 别朝红,王锡凡. 配电系统的可靠性分析[J]. 中国电力,1997,30(5):10-13.
BIE Chao-hong,WANG Xi-fan.Reliability Analysis of Distribution Networks[J]. Electric Power 1997, 30(5):10-13.

收稿日期:2006-11-02; 修回日期:2007-09-18

作者简介:

郭慧敏(1980-)女,硕士研究生,从事技术开发方面的工作。E-mail: guohuimin66@126.com

西继电梯公司市场开拓再创佳绩

依靠优质的产品和一流的服务,西继电梯公司销售战线捷报频传,继8月份中标新加坡政府采购800余台大单后,日前,公司又相续中标一批重大项目,为进一步拓展市场打下了坚实的基础。

在广大销售人员的不懈努力下,西继电梯公司陆续中标泉州市鲤城区经济适用房江南花园城项目48台电梯,南宁盛天茗城项目49台电梯,天津时代奥城住宅二期、奥城酒店式公寓一期、海逸长洲住宅二期、三期项目共63台电梯,连云港苍梧河滨花园三期项目58台电梯。此外,公司还出口印尼雅加达109台电梯,出口迪拜4台4米/秒高速节能电梯,刷新了国产品牌高速电梯零出口的记录。

2007年,西继电梯公司紧紧抓住电梯市场的有利时机,找准市场定位,全面加强市场营销,积极调整营销策略,不断提高公司的市场控制能力和销售质量;同时狠抓优质服务,努力打造国内一流品牌。今年公司销售总额再创历史新高,前九个月公司就完成了去年全年的销售额,订货量比去年同期增长140%。截止10月中旬,公司订货量已完成年销售计划的116%,提前70天完成今年全年销售任务。如今西继电梯公司正抓住今年剩余2个多月的时间,力争使销售工作创出更加辉煌的业绩。