

配电网可靠性分层评估算法

文艳, 罗安, 谷群辉

(中南大学信息工程与科学学院, 湖南 长沙 410083)

摘要: 针对故障产生的三种模式, 分析了故障的三种模式对配电网可靠性的影响, 提出了一种基于故障扩散的电网可靠性评估算法。该算法可快速计算电网各馈线、变电站和电网的可靠性指标, 并可找出影响供电可靠率的薄弱环节, 为配电系统规划和管理及城乡电网改造提供了有力的分析工具。同时对算例进行了验证, 计算结果表明了算法的有效性。

关键词: 配电网; 可靠性; 分层算法

中图分类号: TM727 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)09-0031-04

0 引言

配电系统可靠性研究的目的是评估系统究竟在多大程度上能够保证各个用户的供电连续性。据调查, 负荷点用户停电事件中, 约 80% 是由配电系统引起的。因此, 研究如何提高配电系统的供电可靠性具有十分重要的意义^[1]。随着经济发展, 城市电网的规模不断扩大, 设备元件增加势必导致系统发生设备元件故障的概率增大。本文通过找出设备元件发生故障的三种模式: 馈线级故障模式、变电站故障模式和上一级电网故障模式, 分析故障的三种模式对配电网可靠性的影响, 采用分层算法, 提出了一种基于故障扩散的电网可靠性评估算法。

1 分层算法

考虑设备元件发生故障的三种模式, 逐一分析每种模式对配电网可靠性的影响, 即其产生的停电时户数, 并结合配电网的网络拓扑结构, 综合得到配电网可靠性数据^[2]。

1.1 三种故障模式及其对配网可靠性的影响

馈线级故障模式是指在电网各馈线中的设备元件发生的永久性故障, 采用的指标为设备故障率和设备每次故障平均停电持续时间。故障对配电网可靠性的影响即为故障引起的停电时户数。假设设备故障发生在某馈线第 i 段, 对于该故障段, 其停电用户数为 C_i , 停电时间为故障元件修复时间。对于该段以后的所有停电用户 $\sum C_j (j > i)$, 若无联络线, 停电时间为故障元件修复时间; 若有联络线, 停电时

间为联络开关操作时间。

变电站故障模式是指电网中母线发生故障, 用母线平均修复时间和母线可用系数表示。一般母线分二段, 且不考虑二段母线同时故障。母线故障产生的停电时户数为: 考虑故障母线所带负荷是否可以全部转移, 可转移负荷时停电用户数为故障母线段有联络出线用户数, 停电时间为联络开关倒闸平均操作时间; 不可转移负荷时为故障段母线无联络出线用户数, 其停电时间为母线修复时间。若母线与出线上设备同时发生故障时, 取两者中修复时间较大者。

上一级电网的故障模式是指由于上一级电网的各种设备元件或母线等原因造成不能对配网进行正常供电的故障, 通常指 220 kV 级, 相应指标为上一级故障排除时间和上一级输变电设施的可用系数。该故障产生的停电时户数为: 考虑上一级电网输变电系统故障是否引起母线不带电。若引起母线不带电, 母线分段时的停电用户数为上一级故障变电站所对应母线段的用户数, 停电时间为联络开关倒闸操作时间; 母线不分段时, 可转移负荷的停电时间亦为联络开关倒闸平均操作时间, 不可转移负荷停电时间为上一级电网故障修复时间。

1.2 算法的数学模型

算法基于如下假设: (a) 不考虑由于容量不足的限电; (b) 有联络的出线故障后, 完好区段的负荷能够全部转移; (c) 不考虑外力破坏作用的影响, 不考虑作业、检修、预安排产生的停电, 而只考虑设备故障产生的停电; (d) 不考虑瞬时故障, 而考虑只有等故障设备(元件)修复后才恢复送电的永久性故障; (e) 基于考虑由用户原因引起的事故、故障的停电, 所以假设线路上用户越多, 线路故障的可能性越

基金项目: 国家 863 资助项目 (863-511-820-007); 湖南电力科技攻关项目 (20005005)

大;(f) 单向回路停电一次处理完成,全线同时恢复送电,多回路停电其各回路的停电操作和恢复送电操作同时完成;(g) 不考虑断路器等开关设备误动、拒动,所有的保护装置动作正确;(h) 由于现在各供电局在可靠性数据统计时没有统计到出线每段长度及支线长度,按照国家可靠性管理中心的要求,假设平均分段。

我们提出以下预测评估思想:通过对各变电站各出线进行故障停电事故枚举,得到出线的故障停电时间和故障次数,从而得到整个配电网的故障停电时间和故障次数,再根据可靠性指标的定义,得到整个配电网的可靠性指标^[3]。对整个配电网分三种情况考虑:上一级输变电设施完好且母线无故障的停电时户数 T_{i1} ;上一级输变电设施完好而母线故障的停电时户数 T_{i2} ,包括母线分段和母线不分段两种情况;上一级输变电设施故障引起母线不带电的停电时户数 T_{i3} ,也包括母线分段和母线不分段两种情况。

1.2.1 第一种情形

$$T_{i1} = \sum_{j=1}^{m_i} T_{ij}$$

T_{ij} 为变电站 i 出线 j 设备故障后的停电时户数。

1.2.2 第二种情形

母线一般分为 2 段,不考虑二段母线同时故障

(a) 故障母线所带负荷能全部转移时

$$T_{i2} = C_{i1} \cdot t_1$$

C_{i1} 为变电站 i 故障母线段客户数; t_1 为联络开关倒闸平均操作时间。

(b) 故障母线所带负荷不能全部转移时

$$T_{i2} = C_{i2} \cdot t_3 + (C_{i1} - C_{i2}) t_1$$

C_{i2} 为变电站 i 故障段母线无联络出线客户数。

(c) 母线故障母线负荷能全部转移时

$$T_{i2} = C_{i1} \cdot t_1$$

(d) 负荷部分转移时

$$T_{i2} = C_{i2} \cdot t_3 + (C_{i1} - C_{i2}) t_1$$

t_3 为母线修复平均时间。

当母线与出线上设备发生同时故障时,则取修复时间为两者中较大者,其余同上。

1.2.3 第三种情形

(a) 考虑双电源双母线,上一级故障变电站所对应母线段客户数可由完好变电站所对应母线通过联络开关完全转移。此时

$$T_{i3} = C_{i3} \cdot t_1$$

C_{i3} 为上一级故障变电站所对应母线段客户

数。

(b) 母线所带负荷能全部转移

$$T_{i3} = C_{i1} \cdot t_1$$

(c) 母线所带负荷部分转移

$$T_{i3} = C_{i4} \cdot t_4 + (C_i - C_{i4}) t_1$$

C_{i4} 为变电站 i 无联络线的出线所带客户数; t_4 为上一级故障排除时间。

由于目前基本实行了母线分段且对于母线故障或上一级故障时,负荷可通过联络开关完全转移,故:

$$T_i = (1 -) T_{i3} + T_k \quad (1)$$

$$T_k = (1 -) T_{i2} + T_{i1} \quad (2)$$

$$T = \sum_{i=1}^n T_i \quad (3)$$

$$T = \sum_{i=1}^n T_i \quad (4)$$

此时:

$$C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} C_{ij}; AIHC \cdot F = T / C;$$

$$MID \cdot F = T / F; RSFI = F / L;$$

$$RS_1 = RS_2 = RS_3 = (1 - T / 8760 \cdot C) \times 100 \%。$$

式中:为上一级输变电设施可用系数;为母线可用系数; T 为配电网总的停电时户数; T 为配电网总的停电时间; F 为配电网总的故障次数; C 为配电网总的用户数; L 为配电网总的线路长; n 为配电网变电站总数; RS_1 、 RS_2 、 RS_3 为平均供电可用率; $AIHC \cdot F$ 为系统平均停电持续时间(h/户); $MID \cdot F$ 为系统故障平均停电持续时间(h/次); $RSFI$ 为系统平均故障次数(次/百公里)。

2 算法实现

分层技术按配电网-变电站-馈线-段-设备的层次建立数据结构。系统采用 VC++ 6.0 实现,整个配电网结构通过作图表示,而配电网的参数用数据结构存储。为了在软件中实现分层技术,采用静态切分窗口得到左右视图,左视图基于 CTreeView 类,用树型结构表示配电网⁴/变电站⁴/馈线层。软件初始化时只生成根节点表示配电网层,根节点下添加若干新节点,表示变电站层,变电站层节点下添加新节点表示馈线层。变电站层节点建立数据结构存储故障率、故障时间、载容比系数等参数。馈线层节点建立数据结构存储元件类型、起始点、终点、导线长度等参数。

右视图用来表示馈线⁴/段⁴/设备层。因为算法将配电网参数与其拓扑结构结合,而实际配网结构

比较复杂,为方便数据分析处理,开发了专门的作图工具,用来绘制网络拓扑结构图。作图工具栏分为四种元器件:电源、开关、变压器、备用电源以及三种线型:绝缘线、裸导线和电缆。软件中设置元器件和线型两种数据结构,存储设备元件类型、起点、终点和长度等参数。在右视图中绘制的元器件及导线分别对应存储在元器件链表和线型链表中,其相关参数存储在对应数据结构中。若画元器件,则在元器件链表中添加一个节点;若画线型,则在线型链表中添加一个节点。由此可以将输入图形存储,并通过对链表的元器件及线型的搜索,找出它们的连接关系,从而得出整个配电网的连接网,然后进行拓扑分析,根据拓扑结构与图形数据,快速建立计算树进行计算。

实际计算时,以母线后一段作为树根,每一段建立一个树节点。节点的一个指针指向父节点,一个指针指向后面的分支节点,建立整个计算树。先查找母线,找到母线后,寻找与母线相连的电线,根据电线末端点坐标找出连在电线末端的开关,以开关为入点建立节点。以相类似的方法根据元器件或导线的起点和终点寻找相连设备,建立整棵节点树,再根据网络拓扑结构,统计算法的各项相关参数,计算馈线各项可靠性指标。综合变电站下各馈线的可靠性指标,得到变电站的可靠性指标,综合各个变电站的可靠性指标,得到整个配电网的可靠性指标。

3 算例

我们对长沙配电网荣湾镇变电站进行可靠性评估,该变电站有4条母线(10 kV),负荷点17个,总用户数226户,总变容量60890 kVA,线路总长61.803 km。变电站接线图如图1。

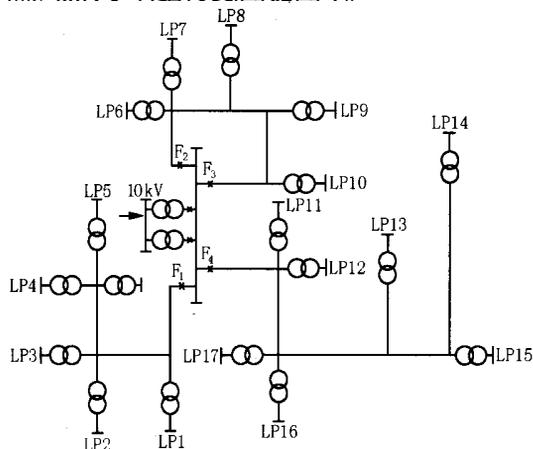


图1 变电站接线图

Fig. 1 Single line connection of transformer substation

电网参数见表1。

表1 电网参数

Tab. 1 Electric network parameters

	故障率	故障排除时间/h	其它参数
负荷开关	2次/年·百台	2.5	上级变电站故障率 2.5次/年
熔断器	2次/年·百台	2	母线故障率 3次/年
分段开关	2.5次/年·百台	2	备用电源可用系数 99.8%
出线断路器	3次/年·百台	2	联络开关操作时间 0.5 h
用户变压器	3.5次/年·百台	3	一般开关操作时间 2 h
绝缘导线	3次/年·百公里	3.5	载容比系数 2
裸导线	2次/年·百公里	2	
电缆线	1次/年·百公里	4	

由于网络拓扑算法精度高,要求考虑每一个元件,因此计算量非常庞大,用手工计算是不现实的。而利用该系统,我们方便快捷的输入了2000年的长沙配电网荣湾镇变电站的网络图及湖南省电力局提供的可靠性数据,迅速计算出了该变电站的可靠性指标,见表2。

表2 计算结果

Tab. 2 Calculation results

可靠性指标	统计值	计算值	误差(%)
$RS_1 = RS_2 = RS_3$ (%)	98.622 4	98.733 6	0.001 1
$A1HC/F$ (h/户)	106.618 4	103.121 0	0.032 8
$M1D/F$ (h/次)	3.560 1	3.207 5	0.099 0

由计算结果可以看出:用该算法计算得到的可靠性指标与湖南省电力局的历史统计数据比较,证实了算法的可靠性。

4 结论

根据故障产生的三种模式,并分析故障的三种模式对配电网可靠性的影响,利用系统元件的可靠性数据与系统网络拓扑结构建立系统的可靠性数学模型,提出了基于故障扩散的分层算法来进行系统可靠性评估。采用Visual C++ 6.0开发了配电网系统可靠性评估软件,可方便快捷计算电网各馈线、变电站、电网的可靠性指标。通过实际运行后的计算值与预估值的比较,结合各停电原因的分析,可找出影响供电可靠率的主要原因,并可在计算机上模拟设计,算法和软件的研制开发为配电网系统规划和管理提供了有力的分析工具。

参考文献:

- [1] 郭永基(GUO Yongji). 电力系统可靠性原理和应用(The Theory and Application of Power System Reliability) [M]. 北京:清华大学出版社(Beijing: Tsinghua University Press),1986.

- [2] Salvaderi L, Billinton R. A Comparison Between Two Fundamental Approaches to Comparison System Reliability Evaluation [J]. IEEE Trans on PAS, 1985, 104(12): 3486-3491.
- [3] 张焰, 张卫红 (ZHANG Yan, ZHANG Wei hong). 配电管理系统中的分析应用软件研究 (Research of Analysis and Application System for Distribution Management System) [J]. 华东电力 (East China Electric Power), 1999, (11): 7-9.

收稿日期: 2003-08-11; 修回日期: 2003-10-29

作者简介:

文艳 (1979 -), 女, 硕士研究生, 现从事电力系统自动化方面的研究;

罗安 (1957 -), 男, 博士生导师, 长期从事电力系统自动化方面的研究工作;

谷群辉 (1972 -), 男, 博士研究生, 主要从事配电网可靠性方面的研究。

Reliability stratification evaluation algorithm of distribution network

WEN Yan, LUO An, GU Qun-hui

(School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: Aiming at the three modes of failure generation, this paper analyses their influence to the reliability of distribution network, and presents an assessment algorithm for power system reliability based on failure diffusion. The algorithm can quickly calculate the reliability index of the feeder lines, transformer substations and electric networks, and find out the system capacity constraint influencing the reliability of the power supply. It is a powerful tool for distribution system planning, maintenance, and reconstruction. The application of the algorithm verifies its validity.

Key words: distribution network; reliability; stratification algorithm

(上接第 26 页 continued from page 26)

- [5] 阎钊, 李尔学, 杨仕友 (YAN Tian, LI Er-xue, YANG Shi-you). 10 kV 线路故障测距模拟退火算法应用 (Application of Simulated Annealing Algorithm to Measure Fault Distance of 10 kV Fault Line) [J]. 继电器 (Relay), 1998, 26(5): 14-17.
- [6] 飞思科技产品研发中心 (Feisi Science and Technology Product Center). MATLAB 6.5 辅助神经网络分析与设计 (MATLAB 6.5 Analysis and Design of the Auxiliary Neural Network) [M]. 北京: 电子工业出版社 (Beijing: Publishing

House of Electronics Industry), 2003.

收稿日期: 2003-08-15; 修回日期: 2003-11-11

作者简介:

李振然 (1935 -), 男, 教授, 从事电力系统自动化、人工智能在电力系统中应用的教学和科研工作;

贾旭彩 (1977 -), 女, 硕士研究生, 研究方向为人工智能在电力系统中应用;

李滨 (1975 -), 女, 讲师, 研究方向为电力系统优化和人工智能在电力系统中应用。

Fault location for single-phase-to-earth fault using the combination of wavelet transform and BP neural network

LI Zhen-ran, JIA Xu-cai, LI Bin

(School of Electrical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: In this paper, the method based on the combination of wavelet transform and BP neural network is presented to realize fault location for the single-phase-to-earth fault in non-direct-ground systems. Because of taking the modal maxima of real and imaginary part of the transient fault current and transient bus voltage as the input of BP neural network, the ability of the fault detection and the reliability are enhanced. The effect of transient resistance on fault location is reduced greatly through special processing of BP neural network. Simulation results show that the proposed method is of precision and reliability.

Key words: wavelet transform; BP neural network; single-phase to earth; fault location