

配电系统可靠性评价的可变模糊集方法

罗景峰, 许开立

东北大学资源与土木工程学院, 沈阳 110004

摘要 随着用户对供电质量要求的提高, 配电系统的可靠性评价问题也越来越受到人们的重视。在分析配电系统可靠性问题的基础上, 提出了配电系统可靠性评价的可变模糊方法。该方法首先根据指标特征值、指标评价区间矩阵、可变范围评价区间矩阵及点值矩阵确定相对隶属度矩阵, 然后利用可变模糊评价模型对样本进行综合评价, 得到样本在各级别下的综合相对隶属度, 进而计算级别特征值, 并以此为依据进行评价。可变模糊方法可以科学地确定样本指标对各级指标标准区间的相对隶属度, 并且能够通过变化模型及其参数, 合理地确定出样本的评价等级, 提高对样本等级评价的可靠度。通过对某地区配电系统进行评价, 得出其级别特征值比较稳定, 总体评价结果为合格。结果表明, 可变模糊评价方法可靠, 可用于配电系统可靠性评价。

关键词 配电系统; 可靠性评价; 可变模糊集

中图分类号 TM728.2

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.14.009

Variable Fuzzy Sets Method for Reliability Evaluation of Distribution System

LUO Jingfeng, XU Kaili

School of Resources & Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China

Abstract The reliability evaluation of the distribution system becomes more and more important due to the customer's requirement for a distribution system of a higher quality. Based on the analysis of reliability for distribution systems, a variable fuzzy method is proposed. Firstly the matrix of relative membership degree is calculated based on the index feature value, the matrix of index evaluation interval, the matrix of variable range evaluation interval and the matrix of point values. Then the comprehensive relative membership degree of samples is calculated by a model of variable fuzzy evaluation. The rank feature value is thus obtained, for the evaluation. The variable fuzzy engineering method can scientifically determine the relative membership degrees of sample's indexes at level intervals, and reasonably determine the evaluation level of each sample by varying the model and its parameters. From the evaluation of the reliability of the distribution system, a relative stable value can be obtained to be regarded as the final evaluation. The case study shows that the method gives more reliable evaluation of reliability of a distribution system than the method in literature.

Keywords distribution system; reliability evaluation; variable fuzzy sets

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标准及期望数量满足用户电力及电能需求的度量^[1-2]。配电系统作为整个电力系统与用户联系的桥梁是整个电力系统向用户供电的重要环节, 一旦配电系统故障或检修, 必然造成系统对用户供电的中断; 同时, 配电系统多采用放射状结构, 对故障比较敏感, 用户停电故障中大多数是由配电系统故障引起

的, 加之用户对配电系统供电可靠性的要求越来越高, 使得配电系统可靠性的研究成为提高电力系统可靠性工作的一个重要组成部分。随着中国配电网规模的不断扩大, 如何快速、高效、可靠地对配电网进行可靠性评价, 已成为研究的热点。

目前, 有关配电系统可靠性评价的研究主要集中在可靠性指标的计算方面^[1-4], 而对于系统可靠性综合评价研究较少^[5]。鉴于此, 尝试将可变模糊评价法应用于配电系统可靠性评价

收稿日期: 2010-10-13; 修回日期: 2011-04-01

作者简介: 罗景峰, 博士研究生, 研究方向为安全系统工程、系统可靠性、软计算方法及其应用等, 电子信箱: luojingfeng2006@126.com

问题上,以期为电力系统的优化规划和可靠运行提供一种可靠的参考依据。

1 系统可靠性评价的可变模糊方法

陈守煜^[6]在工程模糊集理论基础上,创建了可变模糊集理论,是对经典模糊集合论静态概念与理论的突破。该理论已在水文水资源科学领域得到了成功应用和推广,且收到了良好的效果,已被证明是一种科学可靠的理论方法体系^[6-9]。

可变模糊可靠性评价方法步骤如下。

第一步,确定样本特征值矩阵。

设有 n 个待评价样本组成的样本集 $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$, x_{ij} 为样本 j 的第 i 个指标值,则待评价样本特征值矩阵可表示为

$$X=(x_{ij}) \quad (1)$$

式中 $i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n; m$ 为每个样本指标特征值的个数。

第二步,确定指标评价区间矩阵。

设样本的各评价指标按 c 个级别划分出评价区间,并令 1 级优于 2 级,2 级优于 3 级, $\dots$, c 级最差,则可得到指标评价区间矩阵

$$I_{ab}=([a_{ih}, b_{ih}]) \quad (2)$$

第三步,据矩阵 I_{ab} 确定可变范围评价区间矩阵。

$$I_{cd}=([c_{ih}, d_{ih}]) \quad (3)$$

式中,

$$[c_{ih}, d_{ih}]= \begin{cases} [a_{ih-1}, b_{ih+1}], & h-1>0, h<c \\ [a_{ih}, b_{ih+1}], & h-1=0 \\ [a_{ih-1}, b_{ih}], & h=c \end{cases}$$

第四步,据矩阵 I_{ab} ,按指标的物理特性与实际情况确定区间 $[a_{ih}, b_{ih}]$ 中相对隶属度 $\mu_A(x_{ij})_{h=1}$ 的点值矩阵。

$$M=(M_{ih}) \quad (4)$$

式中, $M_{ih}=\frac{c-h}{c-1}a_{ih}+\frac{h-1}{c-1}b_{ih}(h=1, 2, \dots, c)$ 。

第五步,确定指标 x_{ij} 隶属于各个级别的相对隶属度矩阵。

将指标特征值 x_{ij} 与 M_{ih} 进行比较,若 x_{ij} 在 M_{ih} 的左侧,即 $x_{ij}<M_{ih}$,则其相对隶属函数计算公式为

$$\begin{cases} \mu_A(x_{ij})_h=0.5(1+\frac{x_{ij}-a_{ih}}{M_{ih}-a_{ih}}), & x_{ij} \in [a_{ih}, M_{ih}] \\ \mu_A(x_{ij})_h=0.5(1-\frac{x_{ij}-a_{ih}}{c_{ih}-a_{ih}}), & x_{ij} \in [c_{ih}, a_{ih}] \end{cases} \quad (5)$$

若 x_{ij} 在 M_{ih} 的右侧,即 $x_{ij}>M_{ih}$,则其相对隶属函数计算公式为

$$\begin{cases} \mu_A(x_{ij})_h=0.5(1+\frac{x_{ij}-b_{ih}}{M_{ih}-b_{ih}}), & x_{ij} \in [M_{ih}, b_{ih}] \\ \mu_A(x_{ij})_h=0.5(1-\frac{x_{ij}-b_{ih}}{d_{ih}-b_{ih}}), & x_{ij} \in [b_{ih}, d_{ih}] \end{cases} \quad (6)$$

从而可计算样本 j 指标 i 对各个级别的相对隶属度矩阵

$${}_jU=(\mu_A(x_{ij})_h) \quad (7)$$

第六步,确定可变模糊综合评价模型。

由式(8)计算样本 j 对级别 h 的综合相对隶属度

$${}_jU'_h=\left\{1+\frac{\sum_{i=1}^m[w_i(1-\mu_A(x_{ij})_h)^p]}{\sum_{i=1}^m[w_i\mu_A(x_{ij})_h]^p}\right\}^{-\frac{\alpha}{p}} \quad (8)$$

式中, w_i 为指标权重; α 为优化标准参数, $\alpha=1$ 为最小一乘方准则, $\alpha=2$ 为最小二乘方准则; p 为距离参数, $p=1$ 为海明距离, $p=2$ 为欧式距离。 α, p 称为可变模糊模型参数,通常有 4 种组合: (1) $\alpha=1, p=1$; (2) $\alpha=1, p=2$; (3) $\alpha=2, p=1$; (4) $\alpha=2, p=2$ 。

据参数的 4 种不同组合均可得到一个相应的非归一化综合相对隶属度矩阵

$${}_jU'=({}_jU'_h) \quad (9)$$

对式(9)进行归一化,得到样本 j 对级别 h 的归一化综合相对隶属度矩阵

$${}_jU=({}_jU_h) \quad (10)$$

式中, ${}_jU_h=\frac{{}_jU'_h}{\sum_{h=1}^c{}_jU'_h}$ 。

第七步,综合评价。

计算样本 j 的级别特征值向量

$$H_j=(1, 2, \dots, c) \cdot {}_jU \quad (11)$$

并根据判断准则

$$\begin{cases} 1.0 \leq H \leq 1.5, & \text{归属于 1 级} \\ h-0.5 < H \leq h, & \text{归属于 } h \text{ 级, 偏 } (h-1) \text{ 级 } (h=2, 3, \dots, c-1) \\ h < H \leq h+0.5, & \text{归属于 } h \text{ 级, 偏 } (h+1) \text{ 级 } (h=2, 3, \dots, c-1) \\ c-0.5 < H < c, & \text{属于 } c \text{ 级} \end{cases} \quad (12)$$

对样本进行综合评价。

2 应用实例与结果分析

以某地区配电系统可靠性评价为例,来说明可变模糊评价方法在系统可靠性评价中的应用。实例资料引自文献[5],7 项评价指标分别为:供电可靠性, $\%(C_1)$;用户平均停电时间(计入外部影响), $\text{min}/\text{户}(C_2)$;用户平均停电次数(计入外部影响), $\text{次}/\text{户}(C_3)$;架空线路故障率, $\text{次}/(100\text{km} \cdot \text{年})(C_4)$;电缆线路故障率, $\text{次}/(100\text{km} \cdot \text{年})(C_5)$;配电变压器故障率, $\text{次}/(100\text{台} \cdot \text{年})(C_6)$;系统故障停电率, $\text{次}/(100\text{km} \cdot \text{年})(C_7)$ 。通过这 7 项指标的确定,可以较科学地评价出该地区配电系统可靠性等级。配电系统分为 3 个等级,即优等配电系统、合格配电系统和不合格配电系统。评价指标与各级标准值区间如表 1 所示。

利用文中提出的可变模糊评价法对样本 (99.983, 36.18, 0.39, 3.5, 7.375, 1.313, 6.079) 进行评价,为与文献中方法进行比较,评价指标的权重向量取 $W=(0.33, 0.17, 0.17, 0.083, 0.083, 0.083, 0.083)$ 。于是,得到 4 种模型参数组合下的级别特征值如表 2 所示。

表 1 可靠性指标及其评价标准

Table 1 Reliability index and its gradation criterion

评价因子	配电系统等级		
	优等(I级)	合格(II级)	不合格(III级)
C_1	[100, 99.98]	[99.982, 99.97]	[99.972, 99.96]
C_2	[10.0, 37.5]	[35.0, 92.5]	[90.0, 120.0]
C_3	[0.1, 0.2]	[0.18, 0.4]	[0.38, 0.5]
C_4	[2.0, 4.5]	[4.0, 6.5]	[6.0, 8.5]
C_5	[6.0, 7.5]	[7.0, 8.5]	[8.0, 10.0]
C_6	[0.2, 1.2]	[1.0, 3.2]	[3.0, 4.0]
C_7	[5.0, 6.0]	[5.8, 8.0]	[7.8, 9.0]

表 2 级别特征值

Table 2 Rank feature value

模型组合	$\alpha=1,$ $p=1$	$\alpha=1,$ $p=2$	$\alpha=2,$ $p=1$	$\alpha=2,$ $p=2$
	H	H	H	H
待评样本	1.8294	1.8976	1.7146	1.8040
	$\bar{H}$	1.8114		

由表 2 与式 (12) 可知, 级别特征值基本稳定在 1.7146—1.8976 之间, 样本的评价结果为 II 级, 偏 I 级, 即该配电系统属于合格配电系统。

为说明可变模糊集方法评价结果的稳定性、可靠性, 对各指标的权重值进行变换, 取等权重及在等权重基础上分别考虑 $\pm 10\%$, $\pm 5\%$ 的指标权重变化范围。

$$W_1=(1/7, 1/7, 1/7, 1/7, 1/7, 1/7, 1/7)$$

$$W_2=(1/7+10\%, 1/7-10\%, 1/7+9\%, 1/7-9\%, 1/7+8\%, 1/7-8\%, 1/7)$$

$$W_3=(1/7-10\%, 1/7+10\%, 1/7-9\%, 1/7+9\%, 1/7-8\%, 1/7+8\%, 1/7)$$

$$W_4=(1/7+5\%, 1/7-5\%, 1/7+4\%, 1/7-4\%, 1/7+3\%, 1/7-3\%, 1/7)$$

$$W_5=(1/7-5\%, 1/7+5\%, 1/7-4\%, 1/7+4\%, 1/7-3\%, 1/7+3\%, 1/7)$$

按上述方法进行计算, 得到 $\bar{H}$ 分别为 1.7529, 1.9487, 1.5841, 1.8483, 1.6692。由式 (12) 可知, 样本的评价结果均为 II 级, 偏 I 级。从而验证了可变模糊评价法的稳定性和可靠性。

利用可变模糊评价法, 样本的评价结果与文献[5]的结果 (I 级) 相差一级, 现分析如下, 因可拓关联函数基本公式与可拓关联度准则存在错误^[9], 可能导致最终评价结果与实际不符; 又由表 1 可知, 7 项评价指标有 2 项指标值落入 I 级, 2 项指标落入 II 级, 有 2 项落入 I、II 级, 有 1 项指标落入 II、III 级。因此, 可变模糊评价法得到的评价结果较文献中评价结果更为合理。

3 结论

可变模糊评价方法的动态可变性, 集中体现在评价模

型、参数及权重的可变性上。将可变模糊评价模型与方法应用到配电系统可靠性评价中, 得到如下几点结论。

(1) 可变模糊评价法计算简便, 可信度高, 易于计算机实现。

(2) 评价结果稳定、可靠, 较文献中方法更具科学合理性, 为可变模糊集理论在系统可靠性评价领域的应用进行了有益的探索。

(3) 可变模糊评价方法也适用于其他各类系统可靠性评价问题。

(4) 模型中参数 α, p 仅限定为整数形式, 并且通常情况下其取值范围为 {1, 2}。对于其他取值情况, 有待进一步研究探讨。

参考文献 (References)

- [1] Billinton R, Wang P. Reliability network equivalent approach to distribution system reliability evaluation [J]. *IEEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution*, 1998, 145(2): 149-153.
- [2] 郭永基. 电力系统可靠性分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003. Guo Yongji. Reliability analysis of power system [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003.
- [3] 沈祖培, 黄祥瑞. GO 法原理及应用: 一种系统可靠性分析方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004. Shen Zupei, Huang Xiangrui. Principle and application of Go methodology: A system reliability analysis methodology [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004.
- [4] Heydt G T, Graf T J. Distribution system reliability evaluation using enhanced samples in a Monte Carlo approach [J]. *IEEE Transactions on Power Systems*, 2010, 25(4): 2006-2008.
- [5] 牛东晓, 任峰, 陈莉, 等. 配电系统可靠性评价的物元模型分析 [J]. 华北电力大学学报, 2003, 30(6): 52-54. Niu Dongxiao, Ren Feng, Chen Li, et al. Journal of North China Electric Power University, 2003, 30(6): 52-54.
- [6] 陈守煜. 可变模糊集理论与模型及其应用[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2009. Chen Shouyu. Theory and model of variable fuzzy sets and its application [M]. Dalian: Dalian University of Technology Press, 2009.
- [7] Chen S Y, Fu G T. Combining fuzzy iteration model with dynamic programming to solve multi-objective multistage decision making problems[J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 2005, 152: 499-512.
- [8] Chen S Y, Guo Y. Variable fuzzy sets and its application in comprehensive risk evaluation for flood-control engineering system[J]. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 2006, 5(2): 153-162.
- [9] 张弛, 宋绪美, 李伟. 可变模糊评价法在洪涝灾情评价中的应用[J]. 自然灾害学报, 2008, 17(5): 34-39. Zhang Chi, Song Xumei, Li Wei. Journal of Natural Disasters, 2008, 17(5): 34-39.

(责任编辑 岳臣)

《科技导报》“科技要闻”栏目征稿

“科技要闻”栏目主要选登各类媒体报道的自然科学领域近期的重要科技研究成果新闻。欢迎各研究课题组和科技工作者个人推荐或自荐新闻, 每条新闻约 300 字。栏目责任编辑: 杨书卷, 投稿邮箱: yangshujuan@cast.org.cn。