

高压断路器运行状态的多级模糊综合评估

韩富春, 张海龙

(太原理工大学电气与动力工程学院, 山西 太原 030024)

摘要: 提出了一种高压断路器运行状态的多级模糊综合评估模型。该模型根据断路器的实际运行状态, 确立了高压断路器隶属度函数, 定义了断路器运行状态的特征指标集, 构建了高压断路器的二级模糊评估模型, 选取了19个基本指标作为断路器的评估内容, 经实例分析计算, 该模型可以体现断路器工作状态几种参数的有机结合, 为评估断路器的整体工作状态提供一种综合方法。

关键词: 高压断路器; 运行状态; 模糊综合评估

The multi-level fuzzy evaluation of high-voltage circuit breakers' running

HAN Fu-chun, ZHANG Hai-long

(College of Electrical and Dynamical Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: In this paper, the multi-level fuzzy comprehensive evaluation model for a high-voltage circuit breakers' running is proposed. The model is based on the actual operation of circuit breakers, establishes a membership function of high voltage circuit breaker, defines the characteristics of the circuit breaker operation targets set. A high-voltage circuit breakers secondary fuzzy assessment model is constructed, and 19 indicators is selected as the basic circuit assessment. Case analysis shows that the model can reflect the state of circuit breakers work of several parameters of the organic combination of circuit breakers which provides an integrated approach for the assessment of the overall work of the state.

Key words: high-voltage circuit breakers; operation; fuzzy comprehensive evaluation

中图分类号: TM561 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)17-0060-05

0 引言

高压断路器在电力系统中担负着控制、保护的双重功能, 对电力系统的安全运行起着至关重要的作用。断路器的运行状态直接影响到电力系统运行的可靠性^[1]。为了确保断路器的可靠运行, 提高设备利用率和合理安排断路器检修, 对断路器进行运行状态综合评估, 是一次非常有意义的工作。本文根据高压断路器的实际运行状态, 提出了一种高压断路器运行状态的多级模糊综合评估模型, 该模型在选取了断路器19个评价基本指标的基础上, 根据断路器运行情况定义了5种特征指标集, 建立了高压断路器的二级模糊评价模型。经实例分析评估, 取得了良好评价结论, 评估结果表明应用该方法对断路器进行评估, 简捷快速, 对断路器的状态检修具有良好的指导作用^[2]。

1 多级模糊综合评判

综合评判是对具有多种属性的事物或总体优劣受到多种因素影响的事件做出一个合理的总体评价。评价模型应具有三个基本要素, 即

$$\text{因素集 } U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$$

$$\text{评语集 } V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$$

$$\text{评判集 } B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$$

对于高压断路器的运行状态, 需评判的因素众多, 各因素之间具有不同的类别和层次, 因此需要建立一种多层次综合评判模型比较合适^[3]。本文采用二级综合评判模型, 该模型建立步骤如下:

① 设 U 为因素集, 将因素集 U 中 n 个因素按照一定准则分组, 同类性质因素分为一组, 共划分为 m 组。

$$\text{则 } U = \bigcup_{i=1}^m u_i \quad (1)$$

式中: $i \neq j$, u_i 中含有 n_i 个因素。记为: $u_i \{u_{i1} \ u_{i2} \ \dots \ u_{in}\}$ 。其中 $\sum_{i=1}^m n_i = n$ 。式中 U 为一级评判因素集, u_i 为二级评判因素集。以此类推, 还可以将 u_i 进行细分, 得到三级以上综合因素集合。

② 设 $V = \{v_1 \ v_2 \ \dots \ v_n\}$ 为评语集。对每个 u_i 用多层模糊综合评判模型进行综合评判。

$$B_i = A_i \bullet R_i \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (2)$$

式中: B_i 为对 U 的模糊综合评判结果向量, A_i 为 u_i 相对于 V 的权重矩阵, 此权重矩阵由高压断路器方面的专家根据实际运行情况给定。 R_i 为 u_i 的模糊综合评判矩阵。

③ 由上一层综合评判矩阵和因素集 U 得出最终的综合评估向量。

$$B = A \bullet R = [b_1 \ b_2 \ \dots \ b_l] \quad (3)$$

其中: $R = [B_1 \ B_2 \ \dots \ B_m]^T$

式中: A 为一级评判因素集相对于 V 的权重矩阵^[4]。其评估顺序是首先从最低层开始, 依此向高层进行, 直到最高层评判结束为止。

2 高压断路器的评价指标选取与评语集的确立

2.1 评价指标的选取

断路器运行状态评估是以一系列相互联系并能反映断路器的运行状态和存在问题的指标进行。指标的正确选取对生成合理的综合评价结果具有非常大的作用。评价选取应遵循如下原则^[5]:

(1) 评价指标的准确性: 要求所选指标能准确反映断路器运行中存在的缺陷和故障, 能真实反映断路器的运行状态。

(2) 评价指标的合理性: 不同类型断路器在运行期间具有不同的缺陷程度, 因此要求评价指标函数合理、可靠。

(3) 评价指标的直观性和综合性: 要求评价指标具有明确的表述性并能量化分析。评价指标的各指标的建立应具有一定的综合性, 力求重要信息不能遗漏。将评估的错误降到最低。

根据以上原则, 并广泛征求有关专家和现场运行人员的基础上, 选择了 19 个指标, 见表 1 所示,

这些指标分为运行参数、绝缘介质、开断磨损、工作环境、整体结构五大类型。

表 1 断路器运行状态评估指标体系

Tab.1 Circuit breaker operation evaluation index system

指标	评估内容	指标	评估内容
x_1	使用年数	z_2	微水含量
x_2	磨损程度	z_3	矿油含量
x_3	累计动作	M_1	湿度
y_1	合闸问题	M_2	温度
y_2	分闸问题	M_3	腐蚀气体
y_3	其它因素	N_1	操动机构
y_4	刚分速度	N_2	主体结构
y_5	刚合速度	N_3	回路部分
y_6	导电回路	N_4	支持绝缘
z_1	气体压力		

2.2 断路器运行状态评语集的确立

本文对断路器评价等级划分为三个等级, 依次为良好状态、较好状态、注意状态, 并用 v_1, v_2, v_3 代表以上三种状态^[6]。即 $V = \{v_1, v_2, v_3\}$

其中: v_1 为良好状态是指断路器各个部件技术性能良好, 运行状态稳定, 不存在缺陷, 运行状态良好。 v_2 为较好状态是指断路器部件的技术性能有所下降, 运行状况基本满足运行要求。但某些指标已有所变化, 存在可能影响安全运行的缺陷。 v_3 为注意状态是指断路器部件或参数性能下降较大, 应及时检修, 继续运行将会使设备造成损坏。

2.3 断路器函数隶属度的确立^[11]

隶属度函数是模糊集合应用于实际问题的基础, 其确定方法不是唯一的, 关键在于是否正确反映元素隶属集合到不属于集合这一变化过程的整体集合。本文所用隶属度集合有两种方法:

① 指派方法: 指派方法就是指根据问题的性质套用现成某些形式的模糊分布, 然后根据测量的数

据确立分布中包含的参数。本文所选用的是降半梯形分布函数，以确定隶属度^[7]。图 1 是隶属函数的分布图。

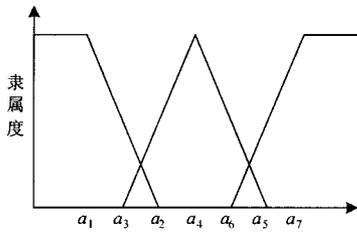


图 1 半梯形和三角形隶属函数的分布图

Fig. 1 A half triangle and trapezoidal membership functions of the map

设 R 是从 U 到 V 的模糊关系， r_{nm} 代表第 n 个因子对第 m 级标准的隶属度。

第一级隶属度：

$$r_{i1} = \begin{cases} 1 & x_i \leq a_1 \\ \frac{a_2 - x_i}{a_2 - a_1} & a_1 \leq x_i \leq a_2 \\ 0 & a_2 \leq x_i \end{cases}$$

第二级隶属度：

$$r_{i2} = \begin{cases} \frac{x_i - a_3}{a_4 - a_3} & a_3 \leq x_i \leq a_4 \\ \frac{a_5 - x_i}{a_5 - a_4} & a_4 \leq x_i \leq a_5 \\ 0 & x_i < a_3 \text{ 或 } x_i \geq a_5 \end{cases}$$

第三级隶属度：

$$r_{i3} = \begin{cases} 0 & x_i \leq a_6 \\ \frac{x_i - a_6}{a_7 - a_6} & a_6 \leq x_i \leq a_7 \\ 0 & x_i \geq a_7 \end{cases}$$

以上适用于开端磨损、运行参数、绝缘介质的求取。其中 x_i 是相应因素的评估函数。

②模糊统计试验法：本文所用为专家调查法，每项指标根据专家经验和看法进行认定。这种方法带有一定的主观性，但反映了大量的经验积累^[8]。

$$\text{隶属度} = \frac{\text{认为因素 } i \text{ 属于第 } j \text{ 评语的人数}}{\text{参加评定的专家的总人数}}$$

以上适用于工作环境和整体结构。

3 实例分析

为了验证该模糊综合评判方法在断路器中应用的可行性和有效性，本文对 LW8-35 型 SF6 进行了模糊综合评判计算。该断路器工作 9 年，累计动作次数 297 次，试验测得合闸不同期和分闸不同期分别为 1.3 ms 和 0.5 ms，刚分速度和刚合速度为 3.5 m/s 和 3.3 m/s。实际现实压力为 0.487 mp，灭弧室 163 ppm，其它气室 195 ppm，环境结构整体方面由 20 人进行抽样统计，见表 2 所示。

表 2 断路器统计结果表

Tab.2 Circuit breaker results table

所属项目	评定项目	评语		
		良好	较好	注意
工作环境	温度	16	2	2
	湿度	14	4	2
	腐蚀气体	18	2	0
整体结构	操动机构	12	6	2
	主体结构	12	8	0
	回路部分	14	6	0
	支持绝缘	14	4	2

对原始数据采用二级综合评判法对该断路器进行计算，首先将表 1 所述的 19 个指标分成五组，构成综合评判集因素集^[9]。

$$U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5\}$$

$$u_1 = [x_1, x_2, x_3]$$

$$u_2 = [y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6]$$

$$u_3 = [z_1, z_2, z_3]$$

$$u_4 = [m_1, m_2, m_3]$$

$$u_5 = [n_1, n_2, n_3, n_4]$$

通过建立代表隶属度和各指标之间的隶属关系和相应的隶属函数表，根据第二节的隶属函数公式，将待测系统的状态代入相应的隶属度函数进行计算。本文根据历年资料和各指标对应的隶属度，得出模糊综合评判信息如表 3 所示。

断路器第二级模糊评判结果为：

$$B_i = A_i \bullet R_i = \begin{bmatrix} 0.7209 & 0.2356 & 0.0435 \\ 0.7767 & 0.1847 & 0.0386 \\ 0.6496 & 0.2349 & 0.1155 \\ 0.8120 & 0.1559 & 0.0321 \\ 0.7354 & 0.2285 & 0.036 \end{bmatrix}$$

表 3 断路器模糊综合评判信息表

Tab.3 Circuit breaker fuzzy comprehensive evaluation of information table

第一级因素集	第一级权系数	第二级因素集	第二级权系数	第二级模糊评判矩阵			第一级因素集	第一级权系数	第二级因素集	第二级权系数	第二级模糊评判矩阵			
				良好	较好	注意					良好	较好	注意	
开断磨损	0.649	x_1	0.131	0.528	0.472	0.0	绝缘介质	0.139	z_1	0.310	0.725	0.125	0.15	
		x_2	0.759	0.75	0.2	0.05			z_2	0.581	0.6	0.3	0.1	
		x_3	0.110	0.7	0.3	0.0			z_3	0.109	0.7	0.2	0.1	
运行参数	0.136	y_1	0.192	0.7	0.3	0.0	工作环境	0.056	m_1	0.321	0.8	0.1	0.1	
		y_2	0.349	0.8	0.2	0.0			m_2	0.559	0.8	0.2	0.0	
		y_3	0.053	0.6	0.3	0.1			m_3	0.12	0.9	0.1	0.0	
		y_4	0.081	0.7	0.2	0.1	整体结构		0.05	n_1	0.273	0.6	0.3	0.1
		y_5	0.146	0.9	0.05	0.05				n_2	0.177	0.6	0.4	0.0
		y_6	0.179	0.8	0.1	0.1				n_3	0.462	0.7	0.3	0.0
					n_4	0.088		0.7		0.2	0.1			

对 $B_i (i = 1, 2, 3, 4, 5)$ 进行归一化处理为 B_i^* , 并由此构造第一级单因归一化处理为 B_i^* , 并由此构造第一级单因素评判集, $R = [B_1^*, B_2^*, B_3^*, B_4^*, B_5^*]$, 对第一级因素取权为 $A = [0.649, 0.136, 0.109, 0.056, 0.05]$, 经过模糊变换, 得出断路器运行状态模糊综合评判结果为 $B = A \cdot R = [0.7266, 0.2238, 0.0496]$ 。

由此可得断路器及其余部分模糊综合评判结果如表 4 所示。

由以上结果可知, 该断路器的整个运行状态处于良好状态, 但从各分类评价结果来看, 绝缘介质分值较低, 应对绝缘介质进行检修维护。

4 结论

本文结合高压断路器实际运行情况, 提出了高压断路器运行状态的多级模糊综合评价模型。选取了 5 种类型和 19 个基本指标作为评价内容, 这些指标能够比较合理的描述断路器所处的运行状态。本文所提出的评价方法, 原理简单, 评价情况客观

表 4 断路器模糊综合评判结果表

Tab.4 Circuit breaker fuzzy comprehensive evaluation results

评判内容	模糊评判结果		
	良好状态	较好状态	注意状态
开断磨损	0.7209	0.2357	0.0434
运行参数	0.7767	0.1847	0.0386
绝缘介质	0.6496	0.2349	0.1155
工作环境	0.8120	0.1559	0.0321
整体结构	0.7354	0.2286	0.036
综合评价	0.7266	0.2238	0.0496

可靠, 对断路器的状态检修具有良好的指导作用。

参考文献

- [1] 陈家斌.SF6 断路器实用技术[M].中国: 中国水利出版社, 2004.
CHEN Jia-bin. SF6circuit Breakers Technical[M].Beijing: China Water Power Press,2004.
- [2] 李建基.高压断路器及其应用[M]. 北京: 中国电力出版

社, 2004.

LI Jian-ji. High-voltage Power Circuit Breaker and Its Application [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.

[3] 方可行. 断路器的故障与检测[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.

FANG Ke-xing. The Circuit Breaker Failure Detection[M]. Beijing: China Electric Power Press,2003.

[4] 罗学琛.SF6 气体全封闭组合电器[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999.

LUO Xue-chen.Gas SF6 GIS in 1999[M].Beijing: China Electric Power Press,1999.

[5] 于莉莉.高压断路器的在线检测与诊断系统(硕士学位论文)[D].济南:山东大学,2005.

YU Li-li. In the High-voltage Circuit Breakers On-line Detection and Diagnosis System, Thesis[D]. Jinan: Shandong University, 2005.

[6] 陈伟根.高压断路器评估方法研究[J].中国科技论文,2003.

CHEN Wei-gen. A High-voltage Circuit Breaker Approach to the Study[J]. China Scientific Papers, 2003.

[7] 牛彪.架空线路运行状态模糊评判[J].现代电力,2008.

NIU Biao. Overhead Lines Running Fuzzy Evaluation[J]. Modern Power, 2008.

[8] Billinton R , Billinton J E. Disribution System Reliability Indices[J]. IEEE Trans on Power Systems,1989, (1):561-568.

[9] Chen S M. Measures of Similarity Between Vague Sets [J]. Fuzzy Sets and Systems,1995,74(2):217-223.

[10] 李伟.高压断路器综合评估(硕士论文)[D]. 重庆:重庆大学.

LI Wei. Comprehensive Assessment of the High-voltage Circuit Breakers,Thesis[D]. Chongqing: Chongqing University.

收稿日期: 2008-10-08; 修回日期: 2008-11-26

作者简介:

韩富春 (1954-), 男, 教授, 主要从事电力系统自动控制检测方向工作; E-mail: zhl72211@163.com

张海龙 (1984-), 男, 研究生, 研究方向为电气设备状态评估。

(上接第 59 页 continued from page 59)

如图 10 所示, M 与 S 之间通道中断, 则选 N 侧为主侧, M、S 侧为从侧; N 侧与 M、S 侧能正常通讯, N 侧差动保护能正常区分区内故障, M、S 侧差动保护不能正常判别区内外故障。

任一通道中断时, 主侧差动保护的跳闸模式不变, 其它两侧差动保护改为直跳方式, 根据主侧的跳闸信号实现区内故障的可靠切除。

3 结论

本文分析了 T 接线路差动面临的特殊问题, 并结合许继研发的 WXH-813A/T 三端差动保护装置, 提出了相应的解决方案。对于 T 接线路而言, 解决了上述 T 接特殊问题的三端差动保护无疑是最佳的保护方案。

参考文献

[1] 朱声石. 高压线路继电保护原理与技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.

ZHU Sheng-shi. Ultra High Voltage Line Relay Protection Theory and Technology[M]. Beijing:China Electric Power Press,2005.

[2] 李瑞生. 光纤电流差动保护与通道试验技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.

LI Rui-sheng.Fiber Differential Protection and Channel

Test Technology[M]. Beijing:China Electric Power Press,2006.

[3] 王亚强. 关于 T 接线路继电保护若干问题研究(硕士学位论文)[D]. 北京: 华北电力大学, 2004.

WANG Ya-qiang.Researches on Several Problems of Protection Relays on T-connections Lines,Thesis[D].Beijing: North China Electric Power University,2004.

[4] 刘玉东, 王增平, 张志梅. 变压器差动保护中电流互感器饱和的综合判据 [J]. 电网技术, 2007, 31(18): 87-88.

LIU Yu-dong,WANG Zeng-ping,ZHANG Zhi-mei.Study on Comprehensive TA Saturation Criterion for Transformer Differential Protection[J].Power System Technology, 2007,31(18):87-88.

收稿日期: 2008-11-13

作者简介:

雷振锋 (1971-), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要从事继电保护的设计工作;

李旭 (1977-), 男, 本科, 工程师, 主要从事继电保护的设计工作;

倪传昆 (1981-), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要从事继电保护的设计工作。