

模糊多目标决策理论在电能质量综合评价中的应用

韩正伟, 林锦国, 邵如平

(南京工业大学丁家桥校区自动化学院, 江苏 南京 210009)

摘要: 运用模糊多目标决策理论对电能质量评价方法进行了阐述, 从电能质量指标入手, 根据电能质量各指标的特点, 确定了相应指标的目标类型, 给出了各自的数学模型, 并将各目标的指标值联立构成相对优属度矩阵, 通过评判方法, 得出目标电能质量的优劣排序。该方法可为电力市场环境下的电能质量的分析提供基础。

关键词: 电能质量; 模糊多目标决策; 相对优属度; 综合评价

Application of fuzzy multi-objective decision making theory in synthetical evaluation about power quality

HAN Zheng-wei, LIN Jin-guo, SHAO Ru-ping

(Automation Department, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China)

Abstract: This paper expatiates an assessment method of power quality by use of fuzzy multi-objective decision making theory. According to the characteristics of power quality indexes, the corresponding objective types are established and its mathematical models are set up. The relative superior attribute degree matrix can be gotten by uniting all the objective indexes. Then the power quality ordering of superiority and inferiority can be worked out corresponding estimate method. This method is a reference to the power quality analysis in the environment of electricity market.

Key words: power quality; fuzzy multi-objective decision making; relative superior attribute degree; comprehensive evaluation

中图分类号: TM732

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2007)10-0033-04

0 引言

电能既是一种经济实用、清洁方便且容易传输、控制和转换的能量形式, 又是一种由电力部门向电力用户提供的一种特殊产品。与其他商品一样, 电能也要讲求质量, 其特殊性就在于电能质量由多种指标共同体现的, 是多指标的有机综合^[1]。尽管我们国家到目前颁布了六项电能质量指标的标准, 但是这些标准只是从质的角度阐述单项指标的合格和不合格, 不能用来区分综合电能质量的好与坏^[2]。

在电力市场环境下, 我国电力系统出现了厂网分开、供输分离的局面。对电能质量进行合理、公正的评估是建立良好电力市场秩序的首要条件。同时, 采用一个合理的电能质量评估方法可以协调电力市场中发、输、配、用电方各方的利益关系^[3]。

针对以上问题, 可以将模糊理论或概率统计理论运用到电能质量的评估研究中, 也可以提出很好的评估方法, 但是这种方法也是建立在等级评定基础上的, 本身不能对同一质量等级中的电能综合指标进行排序, 本文将运用模糊多目标决策理论讨论

这一问题。

1 电能质量指标的数学建模^[4~6]

我国颁布的电能质量指标主要包括: ①电压偏差; ②频率偏差; ③谐波含量; ④电压波动与闪变; ⑤三相不平衡度; 以及一些暂态指标包括暂时过电压、瞬态过电压、电压暂降等, 一般暂态指标可以看作用电的可靠性, 主要体现在用户的停电时间上。以上的这些指标属于物理技术性指标, 随着电力市场化, 服务性指标越来越受到人们的重视, 此指标主要体现在电力的公益服务性, 以及人们的满意度。

下面从模糊多目标角度建立电能质量各指标的数学模型。

1.1 相对优属度

设 \tilde{f}_i 是论域

$$X_i = \{x | m_i \leq f_i(x) \leq M_i, x \in X\}$$

(i 为目标指标的编号: $i=1, 2, \dots, m$) 上的一个模糊子集, 其在 x 处的隶属度为 $\mu_{\tilde{f}_i}(x) (x \in X_i)$ 。如

果有 $f_i(x)$ 的模糊最优集 \tilde{A}_i 使得:

$$\mu_{\tilde{A}_i}(x) = \begin{cases} \mu_{\tilde{A}_i}[f_i(x)] & (f_i(x) \in [m_i, M_i]) \\ 0 & (f_i(x) \in (-\infty, m_i) \cup (M_i, +\infty)) \end{cases} \quad (1)$$

记为: $\mu_i(x) = \mu_{\tilde{A}_i}(x)$, 则称 \tilde{A}_i 为目标分量 $f_i(x)$ 的模糊最优点集, 相应的 $\mu_i(x)$ 称为模糊最优点 $x \in X_i$ 的优属度。但是在实际运用中, 确定目标 $f_i(x)$ 在 X 上的上、下确界比较困难甚至有些场合无法实现, 因此一般都用目标的相对优属度代替目标的绝对优属度, 上、下确界分别用统计数据中的最小、最大值来代替。

1.2 各指标的数学模型

目标相对优属度的确定要根据目标类型、实际问题特点和要求等进行。一般地, 目标可以分为固定型和区间型、成本型、效益型四种。

固定型目标类型顾名思义, 指标越接近于某个固定值就越好。其相对优属度的计算公式如式(2):

$$\mu_{ij} = \begin{cases} 1 & (f_{ij} = f_i^*) \\ 1 - |f_{ij} - f_i^*| / \sigma_i & (f_{ij} \neq f_i^*) \end{cases} \quad (2)$$

式中: f_i^* 为事先给定的第 i 个目标指标 f_i 的最佳值; 其中 $\sigma_i = \max_{1 \leq j \leq n} \{|f_{ij} - f_i^*|\}$ 。

区间型目标类型顾名思义, 指标在某个固定区间范围内为好型。其相对优属度的计算公式如式(3):

$$\mu_{ij} = \begin{cases} 1 - (\bar{f}_i - f_{ij}) / \eta_i & (f_{ij} < \bar{f}_i) \\ 1 & (f_{ij} \in [\bar{f}_i, \bar{\bar{f}}_i]) \\ 1 - (f_{ij} - \bar{\bar{f}}_i) / \eta_i & (f_{ij} > \bar{\bar{f}}_i) \end{cases} \quad (3)$$

式中: 闭区间 $[\bar{f}_i, \bar{\bar{f}}_i]$ 为给定的第 i 个目标 f_i 的最佳区间值; 其中:

$$\eta_i = \max \{ \bar{f}_i - f_{i \min}, f_{i \max} - \bar{\bar{f}}_i \}$$

成本型目标类型, 要求目标的指标值越小越好。其相对优属度的计算公式如式(4):

$$\mu_{ij} = 1 - f_{ij} / (f_{i \max} + f_{i \min}) \quad (4)$$

式中: $f_{i \max}$ 、 $f_{i \min}$ 分别为统计数据中的最大、最小值。

效益型目标类型, 与成本型指标刚好相反, 要求目标的指标值越大约好。其相对优属度的计算类似于式(4), 由于电能质量指标的数学模型中没有运

用到该种类型, 所以这里就不阐述。

由于电网中的电压经常波动, 偏离标称电压, 而且偏离的幅度往往比较大, 因此我们可以判定电压偏差为区间型; 正常运行情况下, 频率偏差、电压波动和闪变、三相不平衡度变化比较小, 基本在零附近变动, 即零值是它们的最佳值, 因此可以判定它们为固定型, 而对于电压波动的频次因素(电压闪变)本文中并没有给出讨论, 因为电压闪变是电压波动的直接原因, 同时电压闪变也与观察者对电灯闪烁的主观感受相关; 对于谐波含有量和停电时间我们的要求是越少越好, 因此可以判定其为成本型; 服务性指标属于定性目标, 对它的评价则是模糊语言, 一般选用模糊评判“好”、“中等”、“差”、“较差”来表示, 其相对优属度分别为 1.0, 0.75, 0.5, 0.25; 电压暂降类指标不仅与电压降幅、暂降持续时间等因素相关, 还与用电设备对电压暂降的敏感程度相关, 因此其目标类型的建立具有一定的复杂性, 还需要进一步的探讨, 因此本文只给出与暂态指标相关的停电时间作为可靠性指标。各指标的目标类型如表 1。

表 1 各指标的目标类型

Tab.1 Objective types of all indexes

指标类型	指标	目标类型
①电压	电压偏差	区间型
	电压波动	固定型
	三相不平衡度	固定型
②频率	频率偏差	固定型
③波形畸变	谐波含有量	成本型
④可靠性指标	停电时间	成本型
⑤服务性指标	满意程度	定性目标

2 电能质量综合评估^[6,7]

以上对电能质量的各指标做了目标类型的分类, 并建立了各自的相对优属度算式, 但是电能质量的综合评估, 还需要考虑指标间的相互影响、相互冲突, 因此需要建立各指标的联合模型对电能质量进行综合的评估排序。

2.1 评判矩阵的建立

一般综合评估模型可描述为:

$$\max_{x_j \in X} \{f(x_j)\} \quad (5)$$

式中: $f(x_j) = (f_1(x_j), f_2(x_j), \dots, f_m(x_j))^T$ 表示方案 x_j 的目标值向量。

则记 $f_{ij} = f_i(x_j) (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n)$, f_{ij} 表示方案 x_j 的第 i 个目标值。对于这种决策方案数

目有限的多目标决策, 其目标空间可用更直观的决策矩阵表示:

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \cdots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \cdots & f_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f_{m1} & f_{m2} & \cdots & f_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

根据各指标的目标类型, 即由式(2)、(3)、(4)将决策矩阵改写成相对优属度矩阵, 即评判矩阵:

$$\mu = \begin{bmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \cdots & \mu_{1n} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \cdots & \mu_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \mu_{m1} & \mu_{m2} & \cdots & \mu_{mn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

在某些情况下, 由于评估人的主观偏向或场合需要, 各个指标值需要乘上相应的权重系数, 在这里仅讨论各指标等权重的情况。

2.2 极大极大决策方法

模糊多目标决策方法有很多, 我们这里采用一种常用的方法: 极大极大方法。

极大极大方法是一种比较简单、便于运用的方法。其基本原理是: 若方案 $x_j \in X$ 满足

$$\mu_{i,j} = \max_{1 \leq j \leq n} \max_{1 \leq i \leq m} \{\mu_{ij}\} \quad (8)$$

则 x_j 是最优方案, 即该组体现的电能质量最优,

然后把 x_j 从 X 中去掉, 再次使用式(8), 则得到

排在第二的电能质量。如此类推, 可得到 X 的优劣排序。

2.3 在电能质量评价中的应用

通过以上的分析, 模糊多目标决策理论运用到电能质量评价中的基本思路是: 首先根据各指标的相应目标类型, 将实测值转换成相对优属度; 其次将各指标的相对优属度合并成评判矩阵; 最后通过运用极大极小方法对评判矩阵进行评判, 得到电能质量组的优劣排序。

3 实例分析

设对电网中的五个公共节点的电能质量进行监测, 得到五组电能质量指标值。组号记为: x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 、 x_5 ; 各指标记为: f_1 、 f_2 、 f_3 、 f_4 、 f_5 、 f_6 、 f_7 , 分别对应于电压偏差、电压波动、三相不平衡度、频率偏差、谐波含有量、停电时间(天/年)、满意程度。

目标决策矩阵为:

$$F = \begin{bmatrix} 6.21\% & 6.53\% & -5.54\% & 7.02\% & -8.00\% \\ 2.01\% & 3.21\% & 1.23\% & 1.72\% & 0.98\% \\ 1.63\% & 1.54\% & 1.01\% & 2.00\% & 2.31\% \\ 0.11 & 0.04 & 0.2 & -0.12 & -0.15 \\ 4.12\% & 3.61\% & 2.32\% & 5.00\% & 4.80\% \\ 7.1 & 8.5 & 6.5 & 8.7 & 7.6 \\ \text{差} & \text{中等} & \text{好} & \text{中等} & \text{差} \end{bmatrix}$$

根据各指标的目标类型, 由相应公式(2)、(3)、(4)可以得到其相对优属度矩阵:

$$\mu = \begin{bmatrix} 0.597 & 0.49 & 0.82 & 0.327 & 0 \\ 0.374 & 0 & 0.617 & 0.464 & 0.695 \\ 0.294 & 0.333 & 0.563 & 0.134 & 0 \\ 0.45 & 0.8 & 0 & 0.4 & 0.25 \\ 0.533 & 0.441 & 0.572 & 0.428 & 0.5 \\ 0.437 & 0.507 & 0.683 & 0.317 & 0.344 \\ 0.5 & 0.75 & 1 & 0.75 & 0.5 \end{bmatrix}$$

由目标的相对优属度矩阵可以看出:

$$\max_{1 \leq j \leq n} \max_{1 \leq i \leq m} \{\mu_{ij}\} = \max\{0.597, 0.8, 1, 0.75, 0.695\} = 1$$

类似地, 可以得到五个监测点的电能质量的优劣排序: x_3 、 x_2 、 x_4 、 x_5 、 x_1 , 即:

$$x_3 \succ x_2 \succ x_4 \succ x_5 \succ x_1.$$

4 结论

随着电力市场的不断深化, 电能质量的综合评价是必然趋势。但鉴于电能质量是由多指标多因素决定的特点, 本文将模糊多目标决策理论运用到电能质量的综合评价中, 根据各个指标的不同特点, 确定了相应的目标类型, 给出了各自的数学模型, 以及构成判据的相对优属度矩阵, 通过评判方法即可得出目标电能质量的优劣排序。

但是, 对于不同电能质量指标值之间的相对优属度文中没有讨论, 这也是今后研究的一个方向和目标。总之, 文中阐述的该方法综合考虑了电能质量指标的多个方面, 评判全面、合理、客观, 具有一定的应用价值。

参考文献

- [1] 杨洪耕, 肖先勇, 刘俊勇. 电能质量问题的研究和技术进展(一) 电能质量一般概念[J]. 电力自动化设备, 2003,

- 10(23):1-4.
YANG Hong-geng, XIAO Xian-yong, LIU Jun-yong. Issues and Technology Assessment on Power Quality Part1: General Concepts on Power Quality[J]. Electric Power Automation Equipment, 2003, 10(23):1-4.
- [2] 陈磊, 徐永海. 浅谈电能质量评估的方法[J]. 电气应用, 2005, 24(1):58-61.
CHEN Lei, XU Yong-hai. Discussion About the Methods of Evaluating Power Quality[J]. Electrical Application, 2005, 24(1):58-61.
- [3] 金广厚, 李庚银, 周明. 电能质量市场理论的初步探讨[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(12):1-6.
JIN Guang-hou, LI Geng-yin, ZHOU Ming. Primary Study of Power Quality Market Theory[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(12):1-6.
- [4] 贾清泉, 宋家骅, 兰华, 等. 电能质量及其模糊方法评价[J]. 电网技术, 2000, 24(6):46-49.
JIA Qing-quan, SONG Jia-hua, LAN hua, et al. Quality of Electricity Commodity and Its Fuzzy Evaluation[J]. Power System Technology, 2000, 24(6):46-49.
- [5] 唐会智, 彭建春. 基于模糊理论的电能质量综合量化指标研究[J]. 电网技术, 2003, 27(12):85-88.
TANG Hui-zhi, PENG Jian-chun. Research on Synthetic and Quantificated Appraisal Index of Power Quality Based on Fuzzy Theory[J]. Power System Technology, 2003, 27(12):85-88.
- [6] 李登峰. 模糊多目标多人决策与对策[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.
LI Deng-feng. Fuzzy Multiobjective Many-person Decision Makings and Games[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2003.
- [7] 辛庆武, 杨灿军. 一种基于模糊多目标决策的炮兵火力优化方法[J]. 运筹与管理, 2005, 14(4): 29-34.
XIN Qing-wu, YANG Can-jun. A Method of Optimizing Artillery Firing Based on Fuzzy Multiobjective Decision Making[J]. Operations Research and Management Science, 2005, 14(4):29-34.

收稿日期: 2006-11-17; 收稿日期: 2006-12-29

作者简介:

韩正伟 (1981-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电能质量监测; E-mail: wo6631077@163.com

邵如平 (1964-), 男, 主要从事电力系统和智能建筑方向的研究;

林锦国 (1957-), 男, 教授, 主要从事自动控制与系统工程方向的研究。

(上接第 32 页 continued from page 32)

- [10] 付蓉, 魏萍, 万秋兰, 等. 市场环境下基于最优潮流的输电网规划[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(16): 42-47.
FU Rong, WEI Ping, WAN Qiu-lan, et al. Optimal Power Flow based Transmission Expansion under Market Environment[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(16): 42-47.
- [11] 付蓉, 魏萍, 万秋兰, 等. 市场环境下基于系统阻塞指标约束的多阶段的输电网规划[J]. 继电器, 2006, 34(10): 55-59.
FU Rong, WEI Ping, WAN Qiu-lan, et al. Congestion Index based Multi-stage Transmission Expansion under Market Environment[J]. Relay, 2006, 34(10): 55-59.
- [12] Hobbs B F, Metzler C B, PANG Jong-shi. Strategic Gaming Analysis for Electric Power Systems: an MPEC Approach[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2000, 15(2): 638-645.
- [13] Newbery D M. Power Markets and Market Power[J]. Energy Journal, 1995, 16: 39-66.
- [14] WEI Ping, Ni Y, Wu F F. Decentralised Approach for Congestion Management and Congestion Price Discovering[J]. IEE Proc on Gener, Transm and Distrib, 2002, 149(6): 645-652.
- [15] Scheweppe F, Caramanis M, Tabors R, et al. Spot Pricing of Electricity[M]. Boston(MA): Kluwer, 1988.
- [16] Romero R, Monticelli A, Garcia A, et al. Test systems and Mathematical Models for Transmission Network Expansion Planning[J]. IEE Proc Gener, Transm and Distrib, 2002, 149(1): 27-36.
- [17] LIN Chyi-yeu, WU Wen-hong. Niche Identification Techniques in Multimodal Genetic Search with Sharing Scheme[J]. Advance in Engineering Software, 2002, 33(11): 779-791.
- [18] Silva E L, Gil H A, Areiza J M. Transmission Network Expansion Planning under an Improved Genetic Algorithm[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2000, 15(3): 1168-1175.

收稿日期: 2006-11-02; 修回日期: 2007-01-08

作者简介:

付蓉 (1974-), 女, 博士, 研究方向为市场环境下的电力系统规划; E-mail: furong@njupt.edu.cn

魏萍 (1973-), 女, 博士, 副教授, 研究方向为电力市场运行及配网自动化的研究和教学工作;

万秋兰 (1950-), 女, 博士, 教授, 研究领域为电力系统运行与控制、电力市场等。