

文章编号:1671-6833(2014)01-0039-04

基于模糊相似选择和接近度的电网谐波综合评估方法

陈根永¹, 柴鹏飞¹, 郭耀峰², 方 向³, 伽胜利⁴

(1. 郑州大学 电气工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 禹州市电力工业公司, 河南 禹州 461670; 3. 汝阳县电业局, 河南 洛阳 471200; 4. 许昌县电业公司, 河南 许昌 461000)

摘 要: 为了分析区域电网谐波污染情况, 构建了一种基于模糊相似选择和接近度的谐波综合评估方法. 首先将评估对象的指标序列与评估等级序列进行比较分析, 其次利用模糊贴近度和灰关联分析构成的接近度指标, 分析评价结果, 得出评估对象对于最优等级及相邻等级的隶属度, 达到精细考察谐波污染情况的目的. 该方法模型简单, 计算便捷, 指标扩展性好, 适合于电能质量在线分析系统对谐波进行统一评估, 实现谐波的智能治理.

关键词: 谐波评估; 模糊相似选择; 接近度; 最优等级

中图分类号: TM614 文献标志码: A doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2014.01.009

0 引言

随着电力系统的日益扩大和电网的不断延伸, 电能质量的分析研究受到越来越多地关注. 在我国, 谐波污染是最突出的电能质量问题. 目前, 针对谐波问题的研究较多. 文献[1-2]介绍了谐波的检测方法及治理方案. 文献[3-4]分别以人工神经网络和遗传算法等方法为基础, 对谐波污染进行评估. 但这些评估算法往往模型复杂, 计算量大, 评估过程中还会遇到维数灾, 陷入局部最优或早熟等问题. 文献[5-6]中利用投影寻踪法和模糊聚类对谐波进行分类评估, 只得出评估对象的最优等级, 没有得出最优等级以及相邻等级的隶属度. 在工程实际中, 难以比较隶属于同一等级内的各个评估对象的谐波污染情况, 不适宜对大量的评估对象进行统一评估, 对评估模型的扩展具有一定的局限性.

针对上述不足, 提出了一种基于模糊相似选择的谐波综合评估方法, 首先利用该方法得出评估对象的最优等级, 次优等级以及第三优隶属等级, 然后利用模糊贴近度和灰关联分析构成的接近度指标, 精确地分析评价结果, 得出每一评估对象对于该等级的隶属度. 该方法相比于其他方法的优点: 第一, 能够克服常规评估方法中人为主观

因素的影响, 客观的反应谐波污染情况. 第二, 其评估模型简单, 计算便捷, 指标扩展性好, 适合于电能质量在线分析系统对电能质量进行统一评估. 第三, 能够对谐波污染情况进行准确的分级, 实现分级智能治理.

1 相关理论

1.1 模糊相似选择法

设有集合 $U = \{x_0, x_1, \dots, x_m\}$, 其中基准序列 $x_0(t_k) = \{x_0(t_1), x_0(t_2), \dots, x_0(t_n)\}$ 计算比较序列 x_i, x_j 相对于基准序列的距离:

$$x_i(t_k) = \{x_i(t_1), x_i(t_2), \dots, x_i(t_n)\}.$$

$$x_j(t_k) = \{x_j(t_1), x_j(t_2), \dots, x_j(t_n)\}.$$

其中 $i, j = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, n$.

$$D(X_{i0}(t_k)) = |X_i(t_k) - X_0(t_k)|; \tag{1}$$

$$D(X_{j0}(t_k)) = |X_j(t_k) - X_0(t_k)|. \tag{2}$$

r_{ij} 表示 x_i 优越于 x_j 的程度:

$$r_{ij} = \frac{1}{n} \left[\sum_{k=1}^n \frac{D(X_{j0}(t_k))}{D(X_{i0}(t_k)) + D(X_{j0}(t_k))} \right]. \tag{3}$$

$$r_{ij} = \begin{cases} > 0.5, & \text{表示 } i \text{ 比 } j \text{ 接近比较标准;} \\ = 0.5, & \text{表示 } i \text{ 与 } j \text{ 接近程度一直;} \\ < 0.5, & \text{表示 } j \text{ 比 } i \text{ 接近比较标准.} \end{cases}$$

其中当 $i = j$ 时 $r_{ij} = 0.5$ 且 $r_{ji} = 1 - r_{ij}$ (r_{ji} 表示 x_j 优

收稿日期:2013-09-01;修订日期:2013-10-09
基金项目:河南省科技攻关资助项目(132102210403)
作者简介:陈根永(1964-),男,河南禹州人,郑州大学教授,硕士,主要从事电配电网可靠性及电力系统规划方面的教学与研究.

越于 x_i 的程度)

写出由 r_{ij} 构成的模糊关系矩阵 $R(i \times j)$ 以及各个 λ (λ 为 r_{ij} 的数值) 水平下的选择矩阵 R_λ, R_λ 中的值 (若 $r_{ij} \geq \lambda$ 则值为 1, 若 $r_{ij} < \lambda$ 则值为 0), 由 λ 从大至小逐个检查 R_λ , 若某个 R_λ 中第 i 行元素除主对角线上元素以外其余元素均为 1, 则元素 x_i 为集合 U 中相对最优序列, 去除该行后重新形成模糊关系矩阵, 继续上述方法可得次优序列和第三优序列等。

1.2 模糊贴近度

模糊集贴近度是反应两个模糊集接近程度的一种度量, 常用的贴近度有海明贴近度、欧氏贴近度和最值贴近度等。

引用上文中的比较序列 $x_0(t_k), x_i(t_k)$, 称如下定义的 $D_p(x_i, x_0)$ 为 A 与 B 的 Minkowski (闵可夫斯基) 距离

$$D_p(x_i, x_0) = \left(\sum_{k=1}^n |x_i(t_k) - x_0(t_k)|^p \right)^{1/p}. \quad (4)$$

特别地, 当 $p=1$ 时, 称 D_{p1} 为 $x_i(t_k)$ 与 $x_0(t_k)$ 的海明距离, 构造如下海明贴近度

$$D_{p1}(x_i, x_0) = 1 - \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |x_i(t_k) - x_0(t_k)|. \quad (5)$$

$p=2$ 时称欧几里得距离, 构造如下欧式贴近度:

$$D_{p2}(x_i, x_0) = 1 - \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_i(t_k) - x_0(t_k))^2}. \quad (6)$$

最值贴近度为

$$\sigma(x_i, x_0) = \frac{\sum_{k=1}^n \min(x_i(t_k), x_0(t_k))}{\sum_{k=1}^n \max(x_i(t_k), x_0(t_k))}. \quad (7)$$

1.3 灰色关联度

引用上文中的比较序列 $x_0(t_k), x_i(t_k)$ 定义 $x_i(t_k)$ 对 $x_0(t_k)$ 的灰色关联系数为

$$\xi_i(t_k) = \left[\min_{1 \leq i \leq m} \min_{1 \leq k \leq n} |x_i(t_k) - x_0(t_k)| + \rho \times \max_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq k \leq n} |x_0(t_k) - x_0(t_k)| \right] / |x_i(t_k) - x_0(t_k)| + \rho \times \max_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq k \leq n} |x_i(t_k) - x_0(t_k)|. \quad (8)$$

ρ 为分辨系数, 一般取 0.5.

等权重的灰色关联度 r_i 定义为

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(t_k). \quad (9)$$

1.4 综合接近度

海明贴近度和欧氏贴近度反映模糊序列与标准序列之间的相对距离; 最值贴近度反映模糊序

列之间的最值的贴近程度; 灰色关联度反映模糊序列各个元素的相似于接近程度; 将这四者结合起来综合反映模糊序列间的位置接近程度和趋势变化, 形成新的指标—综合接近度, 相比于单一的贴近度能更全面的反应评估对象的隶属程度。

综合接近度的表达式为

$$\delta = aD_{p1} + bD_{p2} + c\sigma + dr. \quad (10)$$

式中: a, b, c, d 为权重系数, 且 $a + b + c + d = 1$, 由于各个贴近度和灰色关联度反应不同的接近形式, 系数应当由专家结合实测情况进行适当选取. 笔者取其权重系数相等且都为 0.25, 也可选取其它权重. 比较不同权重下的评估结果。

2 谐波电压分级标准

国标[7]中规定了公用电网各个电压等级的谐波电压限制标准. 笔者以 110 kV 等级电压为例进行分析, 110 kV 电压总谐波畸变率为 2%, 各次谐波电压含有率为 1.6% 限值标准。

由于三相平衡电网系统中偶次谐波可基本忽略, 只考虑奇次谐波, 应选取谐波畸变率较高的次数指标作为评估指标. 根据测试点数据 15 次以上谐波畸变率比较低, 所以算例选择总畸变率和 3~13 次的奇数次谐波占有率为评价指标. 因不包含所有的谐波次数, 故选取谐波总畸变率的 90%, 根据谐波电压的计算公式建立各次谐波的畸变率值标准。

同理可以根据不同电压等级的谐波电压限制标准以及实际谐波污染情况, 建立相应电压等级的谐波电压分级标准, 也可以对电能质量的其它方面例如谐波电流, 建立相应的谐波电流标准, 对谐波电流进行评估. 建立 110 kV 电压等级下谐波电压评估的分级标准如表 1.

其中, 1~5 级的谐波电压在限值范围内属于合格, 每个等级跨度为 0.4 (国标限值的 1/5). 6~9 级谐波电压超过国标及为不合格的情况, 每个等级跨度为 0.8 (国标限值的 2/5). 选取这种等级划分方式可以达到在合格时精细评估结果、而在不合格时大范围考察谐波超标情况的目的. 谐波污染情况从 1~9 级逐级严重^[5].

3 实例分析

对许昌 110 kV 高压网观测数据进行实例分析, 测试数据见表 2.

对数据分别利用前述公式进行计算, 在计算模糊贴近度和灰色关联度时应对数据进行标准

化.表 3 为变电站 A 的详细评估数据.表 4 为各个变电站的谐波电压评估结果.

谐波污染等级从 1 级开始逐级严重,1 到 3 级为谐波良好情况,4 到 5 级为合格情况,6 到 9 级为不合格,而且等级越高,谐波污染越严重.综合接近度越大表明测试点越接近评估等级.由表 4 可知变电站 A 属于等级 6 为不合格,应当对变电站 A 进行针对性的谐波治理.变电站 G 属于等

级 5 虽然属于合格,但是应当进行适当的监控和谐波抑制措施,防止谐波污染情况加重.

相比较于文献[5-6]只得出评估对象的最优等级,难以比较隶属于同一等级内的各个评估对象的谐波污染情况.由表 4 可知对于同属于等级 3 的变电站 B,D,F,虽然同属于合格,但是由于 $B\delta_4 > F\delta_4 > D\delta_4$,说明变电站 B 对于等级 4 的接近度更大,及污染程度更高.且由 $D\delta_2 > F\delta_2 > B\delta_2$ 可

表 1 110 kV 谐波电压分级标准

Tab.1 Grade standards of harmonic voltage (110 kV) %

等级	总畸变率 (x_1)	3 次 (x_2)	5 次 (x_3)	7 次 (x_4)	9 次 (x_5)	11 次 (x_6)	13 次 (x_7)
1	0.2	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
2	0.6	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
3	1.0	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
4	1.4	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54
5	1.8	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
6	2.4	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
7	3.2	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24
8	4.0	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55
9	>4.8	>1.86	>1.86	>1.86	>1.86	>1.86	>1.86

表 2 检测点谐波电压测试数据

Tab.2 Measurement data of harmonic voltage in the monitoring point %

变电站	总畸变率	3 次	5 次	7 次	9 次	11 次	13 次
A	2.71	1.12	1.24	0.63	0.87	0.93	0.96
B	1.19	0.36	0.62	0.57	0.42	0.28	0.44
C	0.58	0.22	0.14	0.26	0.23	0.28	0.17
D	0.93	0.34	0.45	0.29	0.44	0.14	0.35
E	0.78	0.40	0.36	0.25	0.17	0.32	0.21
F	1.08	0.32	0.25	0.28	0.35	0.50	0.59
G	1.90	0.58	1.02	0.62	0.46	0.73	0.79

表 3 变电站 A 谐波电压评估结果

Tab.3 Evaluation outcome of harmonic voltage in the substation A

A 变电站	海明贴近度	欧式贴近度	最值贴近度	灰色关联度	综合接近度
最优等级 6	0.828 4	0.918 8	0.858 8	0.760 5	0.841 6
次优等级 7	0.688 9	0.861 8	0.783 6	0.638 8	0.743 3
第三优等级 5	0.626 9	0.827 4	0.700 9	0.600 5	0.688 9

表 4 变电站谐波电压评估结果

Tab.4 Evaluation outcome of harmonic voltage in the substation

变电站	A	B	C	D	E	F	G
最优等级	6	3	2	3	2	3	5
综合接近度 δ	0.841 6	0.855 4	0.916 0	0.885 0	0.851 0	0.845 1	0.847 1
次优等级	7	4	1	2	3	2	4
综合接近度 δ	0.743 3	0.835 6	0.770 5	0.777 6	0.829 9	0.744 8	0.767 1
第三优等级	5	2	3	4	1	4	6
综合接近度 δ	0.688 9	0.687 3	0.672 7	0.721 2	0.620 2	0.760 6	0.719 6

以知道变电站 D 对于等级 2 接近度更大,污染程度最低。

由此笔者得到了基于模糊相似和接近度的该区域 110 kV 电压等级变电站谐波电压评估结果,同理在根据相应电压等级下的国标限制标准,制定相应的谐波评价等级标准,也可以得到其他电压等级下的谐波评估等级。

在电能质量实时监控系统中,对监控点的测试数据可以进行实时评估,避免一次评估造成的不全面性。对于同一监控点不同时段的评估结果进行分类处理,制定出一个实时的谐波治理方案,从而实现实时监控,在线分析,智能处理达到最优的谐波治理效果,这也是未来智能电网的发展方向。

4 结论

将模糊相似选择和接近度的方法引入了谐波综合评估方法,以谐波电压污染为例进行了分类评估。该方法也可对电能质量中频率偏差,谐波电流,电压闪变等各个指标进行分级评估。由算例表明该方法能够客观地反应谐波污染情况,同时其

评估模型简单,计算便捷,指标扩展性好,适合于电能质量在线分析系统对区域电网谐波污染情况进行统一评估,并能够对谐波污染情况进行准确的分级,实现智能治理。

参考文献:

- [1] 罗辉. 广元电力系统谐波检测方案研究[D]. 重庆大学电气工程学院,2002.
- [2] 周勇,任伟. 配电系统的谐波问题与对策[J]. 郑州大学学报:工学版,2006,27(3):107-109.
- [3] 王小华,何怡刚. 一种新的基于神经网络的高精度电力系统谐波分析算法[J]. 电网技术,2005,29(3):72-75.
- [4] 陈辉. 基于遗传算法的谐波分析模型研究[J]. 天津电力技术,2005(03):1-3.
- [5] 李国栋,刘颖英,顾强,等. 遗传投影寻踪和特征值赋权法综合评估地区谐波[J]. 高电压技术,2008,34(2):329-333.
- [6] 姚猛,蒋德珑,陈根永. 基于模糊聚类的电网谐波综合评估方法[J]. 电测与仪表,2011(10):1-4.
- [7] 国家技术监督局. GB/T 145492—1993,电能质量公用电网谐波[S]. 北京:中国标准出版社,1993.

Application of Fuzzy Similarity Selection and Proximity on Grid Power Harmonic Comprehensive Evaluation

CHEN Gen-yong¹, CHAI Peng-fei¹, Guo Yao-fen², FANG Xiang³, Qie Sheng-li⁴

(1. School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou, 450001, China; 2. Yuzhou Power Supply Company, Yuzhou 461670, China; 3. Ruyang County Power Supply Bureau, Ruyang 471200, China; 4. Xuchang County Electrical Industrial Company, Xuchang 461100, China)

Abstract: In order to analyze regional power grid harmonic pollution situation, a method of fuzzy similarity selection and proximity on grid power harmonic comprehensive evaluation was proposed. Firstly, the index sequences between the evaluation object and the known object were compared and analyzed. Then the proximity indicators were used to evaluate the results, which were combined with fuzzy nearness and grey relational analysis, and the membership of assessment object for the optimal level and next level was acquired to analyze the purpose of the harmonic pollution situation. This method is simple and involves less calculation. Besides, the scalability of indicators is good. It is suitable for power quality analysis system to assessment harmonic uniformly, and can achieve intelligent management.

Key words: fuzzy similarity selection; grading evaluation criteria; proximity; optimal level