

基于时变权重的电能质量综合评估研究

刘兵, 李群湛, 董祥

(西南交通大学电气工程学院, 四川 成都 610031)

摘要: 在分析现有的电能质量综合评估方法的基础上, 提出了一种基于时变权重的电能质量综合评估新方法。该方法以各项电能质量指标限值归一化为依据赋予各项指标客观权重, 通过层次分析法赋予各项指标主观权重, 利用离差最大化模型求取各指标的组合权重, 根据组合权重构建电能质量综合指标, 在考核周期内对综合指标进行考察, 确定电能质量的综合属性。计算结果表明: 由于该方法充分利用周期内电能质量的详细实时信息和严格的权重优化分配模型, 对电能质量的综合评估结果更加科学和准确。

关键词: 电能质量; 综合指标; 实时权重; 考核周期

Comprehensive assessment study of the power quality based on the time-varying weight

LIU Bing, LI Qun-zhan, DONG Xiang

(School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: After analyzing the synthetic assessment methods of power quality at present, a new method of power quality integrated assessment based on time-varying weights is proposed in this paper. According to the normalized value of power quality indicators, we can get the objective weights. Through the AHP (analytical hierarchy process), the subjective weights can be calculated. The combined weights of power quality indicators can be calculated according to the model of maximizing deviations. Finally, by building an integrated power quality index and studying the integrated index in the evaluation cycle, integrated property of power quality is determined. The results show that due to taking full advantage of the detailed information of power quality in the cycle and the model of the weights optimization distribution, the results of the integrated power quality assessment are more scientific and accurate.

Key words: power quality; synthetic indicator; real-time weight; appraisal cycle

中图分类号: TM714 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)14-0006-04

0 引言

随着电力体制改革, 电力作为特殊商品面向市场。对电能质量进行科学评估, 实现电力按质论价、供用双向选择是电力市场规律的内在要求。因此建立一种科学、客观的电能质量综合评估方法具有重要意义, 它在对电能质量各个分项指标进行全面考核基础上给出电能质量综合属性。

电能质量综合评估的实质是科学、客观地给各分项指标赋予权重, 从而将多指标问题综合成单一指标问题。国内目前采用: ①模糊数学法^[1-4]; ②概率统计特征值法^[5]; ③综合指标定义法^[6]。本文以电能质量各项指标的限值归一化为基础, 通过加权构造电能质量综合指标。在考核周期内对综合指标进行考察, 从而确定电能质量综合水平。由实测数据分析表明: 该方法能够有效地对电能质量作出综

合评估, 且操作性强。

1 权重的确定

目前确定权重的方法有多种, 大体上可分为主观赋权法和客观赋权法两大类。为了既照顾到赋权者的主观偏好, 又做到赋权的客观真实性, 达到主、客观的统一, 因此必须对主、客观权重进行综合处理, 得到稳定可靠的综合权重。

1.1 主观赋权

主观赋权广泛采用AHP (Analytical Hierarchy Process) 法。其本质是在满足判断矩阵一致性的前提下实现多指标赋权。文献[7]提出用层次的差异矩阵代替层次判断矩阵, 有效克服了判断矩阵难以满足一致性的缺点。本文把AHP法的层次结构和差异矩阵结合起来, 形成主观赋权的准AHP法。

(1) 层次结构

根据负荷特性确定该监测点电能质量考核内

容。本文实测负荷主要考虑无功、负序、谐波和电压偏差。

(2) 差异矩阵

由电能质量专家有以下的指标重要性排序：谐波>无功>负序>电压偏差；同时根据专家经验给出各指标间的差异度，形成差异矩阵 B ，得到该层次各指标权重。

(3) 主观权重

若结构有 k 个层次(目标层算第一层)，则指标的权重排序向量为 $W=W^{(k)}W^{(k-1)}\dots W^{(2)}$ 。本文只有两层，故主观权重为 $W=W^{(2)}$ 。

1.2 客观权重

设多指标综合评价问题的评价结果状态为 A ，指标集为 $G=\{G_1, G_2, \dots, G_m\}$ ，指标 G_j 对状态 A 的决策值记为 r_j ($j=1, 2, \dots, m$)。设评价指标间的加权向量为 $W^*=\{W_1^*, W_2^*, \dots, W_m^*\} > 0$ ，并满足单位化约束条件 $\sum_{j=1}^m W_j^{*2} = 1$ ，得到客观评价状态 A 的综合属性

值 $Z_A = \sum_{j=1}^m r_j W_j^*$ ，为得结果状态 A 的最优值，建立以下最优化模型：

$$\begin{cases} \max Z_A = \sum_{j=1}^m r_j W_j^* \\ \text{s.t. } \sum_{j=1}^m W_j^{*2} = 1 \end{cases} \quad (1)$$

将 W^* 进行归一化处理，即得到客观权重

$$W_j = W_j^* / \sum_{j=1}^m W_j^*$$

1.3 组合权重

基本思想：设决策者分别运用了 l 种和 $q-l$ 种主、客观赋权法，并分别求出了指标权重向量： $u_k=(u_{k1}, u_{k2}, \dots, u_{km})$ ， $k=1, 2, \dots, l$ ； $v_k=(v_{k1}, v_{k2}, \dots, v_{km})$ ， $k=l+1, l+2, \dots, q$ 。为了得到合理的组合权重，应使相应决策与主客观赋权下的决策结果的总偏差最小，为此引入偏差函数：

$$f_j(u_k) = \sum_{i=1}^m [c_{ij}(w_i - u_{ki})]^2, \quad k=1, 2, \dots, l; i \in m; j \in N$$

$$g_j(v_k) = \sum_{i=1}^m [c_{ij}(w_i - v_{ki})]^2,$$

$$k=l+1, l+2, \dots, q; i \in m; j \in N$$

构造如下的组合权重单目标优化模型：

$$\begin{cases} \min J = \sum_{k=1}^l \sum_{j=1}^n \lambda_k f_j(u_k) + \sum_{k=l+1}^q \sum_{j=1}^n \lambda_k g_j(v_k) \\ \text{s.t. } \sum_{i=1}^m w_i = 1, w_i > 0, i \in M \end{cases} \quad (2)$$

求解式(2)即可得到各指标的组合权重。

2 电能质量综合属性

电能质量综合指标：

$$Q = \begin{cases} \sum_{j=1}^m w_j x_j, & x_j < x_{jh}, j=1, 2, \dots, m \\ \max\{Q_{jh}, \sum_{j=1}^m w_j x_j\}, & x_j > x_{jh}, j=1, 2, \dots, m \end{cases} \quad (3)$$

式中： w_j 表示第 j 项电能质量指标权重， x_j 表示第 j 项电能质量实测百分值， x_{jh} 为第 j 项指标给定的合格限值， Q_{jh} 为综合电能质量的合格限值， m 为考核指标数量。若 x_j 越大，表明第 j 项指标对综合电能质量影响越大，因此应该赋予的 w_j 越大，从而 Q 越大。 Q 越小表明电能质量越优。

从式(3)可见，任何一项电能质量指标超标都将在电能质量综合属性中得到反映。

3 实例分析

3.1 主观权重

由专家给出该负荷类型的各指标差异度为：谐波畸变率—功率因数—三相不平衡度—电压偏差：

差异矩阵 B ：

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 5 & 8 & 13 \\ -5 & 0 & 3 & 8 \\ -8 & -3 & 0 & 5 \\ -13 & -8 & -5 & 0 \end{bmatrix}$$

由差异矩阵得到主观权重(谐波、无功、负序、电压偏差)：(0.466 7, 0.300 0, 0.200 0, 0.033 3)。

3.2 变电所实时数据

某变电所原边电压和功率因数实测数据如图 1 所示。

由图 1 可见，该变电所由于避免功率因数(无功返送不计)低而罚款，因此投入了大量的无功补偿设备，这使得该变电所向电网返送大量无功，造成变电所电压偏高，返送正计功率因数偏低，结果跟变电所的实际情况完全符合。

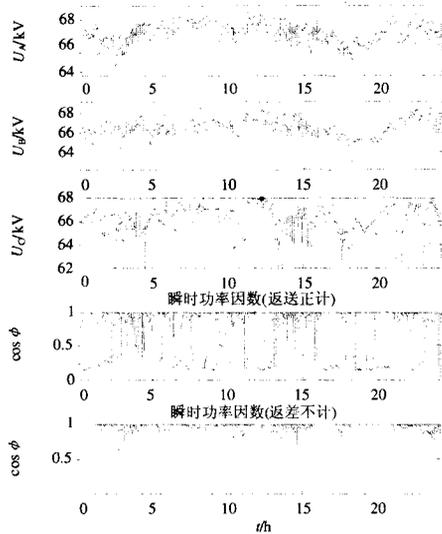


图 1 电压和功率因数实测值

Fig.1 The measured value of voltage and power factor

3.3 客观权重

令 $r_j = x_j/b_j$, 其中 x_j 表示第 j 项指标的实测计算值, b_j 表示第 j 项指标的规定限值。显然, 当 r_j 小于 1 时, 表明此时该项电能质量指标在规定的限值之内, 而且 r_j 越小表明此时的电能质量越优; 否则说明此时电能质量超过了规定的限值, r_j 越大表明

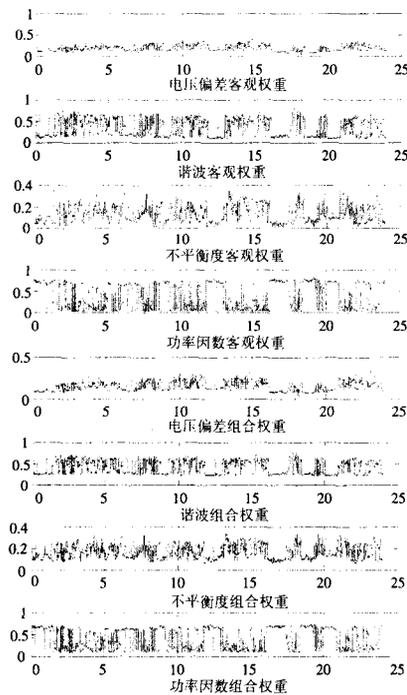


图 2 各指标主客观权重

Fig.2 The weights of indices

品质属性, 因此在理论上: r_j 越大, 应该赋予它越大的权重来表明该项电能质量指标对综合属性的影响。由式(1)得到各指标客观权重, 如图 2 所示。由图 2 可见, 各项指标间的客观权重相对大小与专家经验判断的各指标相对重要程度是一致的。

3.4 组合权重

由式(2)得到各个指标组合权重, 见图 2。

3.5 电能质量综合属性

本文把电能质量指标分成 4 个等级, 见表 1。由式(3)得到各个等级电能质量综合属性界值和电能质量实时综合属性, 如图 3 所示。

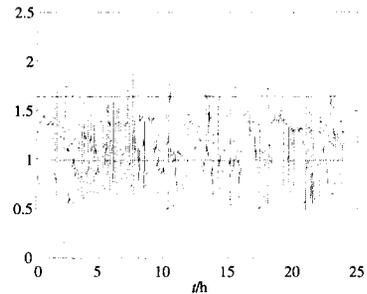


图 3 电能质量综合属性

Fig.3 Synthetic indicator of power quality

表 1 电能质量等级界限值

Tab.1 Limits of power quality grade

	ΔU	$\cos\phi$	负序 ϵ	谐波 THD_U
I	0.5	(0.98)	0.2	0.1
II	1.5	(0.92)	0.8	0.5
III	3	(0.85)	1.6	2
IV	5	(0.80)	2	4

由式(3)可以分别算出各个等级电能质量综合属性值。I: 0.155 29; II: 0.982 66; III: 1.446 4; IV: 1.626 5; 由图 3 可见, 电能质量的综合属性主要在 III 与 IV 两个区间内变化, 这与电铁负荷特性决定的其质量属性是非常吻合的。

电能质量各项指标以考核周期内的 95% 概率值作为指标合格评价的依据, 因此对电能质量综合指标在考核周期内的 95% 概率值作为评价标准是合理的。由图 3 得到电能质量综合指标最大值: 2.237 9; 综合电能质量合格限值: 1.626 5; 95% 概率综合指标值: 1.446 4, 因为 $1.446 4 < 1.626 5$, 因此其综合等级处于第 IV 级, 电能综合质量较差, 但还是处于可接受的范围。

4 结论

(1) 本文利用电能质量指标的限值归一化计算

电能质量越低劣。 r_j 的大小反映着该项电能质量的

权重,一方面完全消除了不同量纲指标的不可公度性;另一方面充分体现了电能质量指标间相对优劣程度对电能质量综合属性的影响,实现按质赋权。

(2) 电能质量指标国内外大多取 95% 概率值作为衡量依据。因此,本文提出在考核周期内取电能质量实时综合指标的 95% 概率值作为衡量电能质量综合水平是合理的,并且很方便确定电能质量的等级,实现电能质量的综合评定。

参考文献

- [1] 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.Power Quality and Fuzzy Method Evaluation[J].Power System Technology,2000,24(6): 46-49.
- [2] 唐会智,彭建春.基于模糊理论的电能质量综合量化研究[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.
- [3] 赵霞,赵成勇,贾秀芳,等.基于可变权重的电能质量模糊综合评价[J].电网技术,2005, 29(6):11-16.
ZHAO Xia,ZHAO Cheng-yong,JIA Xiu-fang,et al. Fuzzy Synthetic Evaluation of Power Quality Based on Changeable Weight[J]. Power System Technology, 2005, 29(6):11-16.
- [4] 李连结,姚建刚,龙立波,等.组合赋权法在电能质量模糊综合评估中的应用[J].电力系统自动化,2007, 31(4):56-60.

LI Lian-jie,YAO Jian-gang,LONG Li-bo,et al. Application of Combination Weighing Method in Fuzzy Synthetic Evaluation of Power Quality[J].Automation of Electric Power Systems,2007, 31(4):56-60.

- [5] 姜辉,彭建春,欧亚平,等.基于概率统计和矢量代数的电能质量归一量化与评价[J].湖南大学学报(自然科学版),2003,30(1):66-70.
JIANG Hui,PENG Jian-chun,OU Ya-ping,et al.Power Quality Unitary Quantification and Evaluation Based on Probabilty and Vector Algebra[J].Journal of Hunan University(Natural Science),2003,30(1): 66-70.
- [6] 陶顺,肖湘宁.电能质量单项指标和综合指标评估的研究[J].华北电力大学学报,2008,35(2):25-29.
TAO Shun,XIAO Xiang-ning.Individuation Indices and Global Indicator of Power Quality[J]. Journal of North China Electric Power University,2008, 35(2):25-29.
- [7] 白若玉,伦昕义.层次单排序的差异矩阵法[J].抚顺石油学院学报,2000, 20(2):82-84.
BAI Ruo-yu,LUN Xin-yi.Difference Matrix Mode of Level Simple Sequence[J].Journal of Fushun Petroleum Institute, 2000,20(2): 82-84.

收稿日期:2008-08-19; 修回日期:2008-09-20

作者简介:

刘兵(1979-),男,硕士研究生,研究方向为电能质量与控制;E-mail:dianqi3446@163.com

李群湛(1957-),男,教授,博士生导师,研究方向为牵引供电理论,系统可靠性技术和电能质量与控制;

董祥(1984-),女,硕士研究生,研究方向为电能质量与控制。

(上接第5页 continued from page 5)

- [16] 高晶,王建华,张保会,等.变压器漏电感参数在线辨识方法研究[J].西安交通大学学报,2008, 42(2):199-203.
GAO Jing, WANG Jian-hua, ZHANG Bao-hui, et al.. On-Line Identification Algorithm for Transformer Leakage Inductance[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2008, 42 (2): 199-203.
- [17] 哈恒旭,王婧,邹本国,等.基于正交投影变换的输电线路电磁暂态计算新方法[J].电力系统自动化,2007, 31 (8): 36-40.
HA Heng-xu, WANG Jing, ZOU Ben-guo, et al. Novel

Algorithm of Electromagnetic Transient Computation by Means of Orthogonal Projection Operators[J]. Automation of Electric Power Systems,2007, 31 (8): 36-40.

收稿日期:2008-08-22; 修回日期:2008-10-07

作者简介:

张志强(1982-),男,硕士研究生,主要研究方向为电力系统继电保护;E-mail: vicar1982@sina.com

哈恒旭(1972-),男,博士,副教授,主要研究方向为电力系统继电保护。