

基于雷达图法的电能质量综合评估模型

李国栋, 李庚银, 杨晓东, 周 明

(华北电力大学电力系统保护与动态安全监控教育部重点实验室, 北京市 102206)

摘要: 在国家标准规定的相关电能质量指标限值基础上,建立了同一尺度下的统一型电能质量指标体系,提出了一种基于雷达图法的电能质量综合评估方法。该方法先引入统一型电能质量指标,再通过多层次交互式算法确定各指标权重;然后改进传统雷达图法的特征量计算方法,将其应用于电能质量综合评估中。评估过程避免了数据归一化过程中的信息丢失,而且评估结果简明、清晰、直观。算例结果表明,所提出的电能质量评估方法直观可信,具有实际意义。

关键词: 电能质量; 统一型电能质量指标; 交互式算法; 雷达图; 综合评估

0 引言

基于微处理器控制的电力电子设备在电力系统中大量使用,它们对电能质量很敏感^[1-2],给现代电能质量提出了更高要求。在电力市场深入发展的背景下,电能质量市场的概念已被提出^[3-4],要将市场价格机制引入现代电力系统,实现电能的按质定价^[5]。为了建立切实可行的电能质量市场,前提之一就是要对电能质量进行合理的综合评估。

电能质量综合评估主要由指标体系和评估方法组成^[6]。电能质量指标可以分为稳态指标和暂态指标两大类,其中,稳态电能质量指标已形成了 IEC 61000, EN 50160, IEEE 519 等 3 个系列的指标及标准^[7-9],而暂态电能质量指标也有 CBEMA/ITIC 曲线、SEMI-F47 曲线以及南非、智利等国家率先施行的电压暂降指标及标准^[10]。现有的电能质量综合评估方法主要包括基于模糊数学理论、概率统计理论、智能化算法等 3 类^[11-13],这些方法在一定程度上解决了综合评估问题,但是部分方法还存在着指标权重确定方法的客观性不强、缺乏对不确定性因素的考虑、实用价值不高等缺点。因此,有必要建立一种客观合理、简单易行的电能质量综合评估模型,应用简便可行的指标体系和直观合理的评估方法,使电能质量综合评估体系得到完善。针对上述情况,本文提出了一种基于雷达图法的电能质量综合评估方法。

1 统一型电能质量指标

文献[14]介绍了一些新的连续型电能质量指标,这些指标都采用百分数形式表示实测值与指标限值之间的差异,而不是与标称值之间的差异。由于中国电能质量国家标准中未对暂态电压指标给出具体要求,这里仅考虑 6 项稳态指标,包括频率偏差指标 I_f 、电压偏差指标 I_V 、波形畸变指标 I_H 、三相不平衡指标 I_B 、电压闪变指标 I_F 、电压波动指标 I_D 。

1.1 频率偏差指标 I_f

传统的频率偏差定义为:

$$\tau_f = \frac{f_x - f_N}{f_N} \times 100\% \quad (1)$$

式中: f_x 和 f_N 分别为频率实测值和标称值。

进而可以定义频率偏差指标为:

$$I_{f,u} = \frac{\tau_{f,u}}{\tau_{f,Lu}} \times 100\% \quad (2)$$

$$I_{f,d} = \frac{\tau_{f,d}}{\tau_{f,Ld}} \times 100\% \quad (3)$$

式中: $\tau_{f,Lu}$ 和 $\tau_{f,Ld}$ 分别为频率偏差标准中规定的上、下偏差限值; $\tau_{f,u}$ 和 $\tau_{f,d}$ 分别为频率上、下偏差指标计算值。

若需要考虑某段时间内的统一型频率偏差指标,则可以定义频率偏差指标为:

$$I_f = \max(I_{f,u}, I_{f,d}) \quad (4)$$

1.2 电压偏差指标 I_V

类似地,可以定义统一型电压偏差指标为:

$$I_{V,u} = \frac{\tau_{V,u}}{\tau_{V,Lu}} \times 100\% \quad (5)$$

$$I_{V,d} = \frac{\tau_{V,d}}{\tau_{V,Ld}} \times 100\% \quad (6)$$

$$I_V = \max(I_{V,u}, I_{V,d}) \quad (7)$$

式中: $\tau_{V,Lu}$ 和 $\tau_{V,Ld}$ 分别为电压偏差标准中规定的上、

收稿日期: 2010-01-20; 修回日期: 2010-04-03。

国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助项目(2009CB219706); 国家自然科学基金资助项目(70773039, 70911130016)。

下偏差限值; $\tau_{V,u}$ 和 $\tau_{V,d}$ 分别为电压上、下偏差指标计算值。

1.3 谐波畸变指标 I_H

谐波畸变指标的计算表达式为:

$$I_{H,\alpha} = \frac{\tau_{H,\alpha}}{\tau_{H,L}} \times 100\% \quad (8)$$

$$I_H = \max(I_{H,a}, I_{H,b}, I_{H,c}) \quad (9)$$

式中: $\alpha = a, b, c$; $\tau_{H,\alpha}$ 和 $\tau_{H,L}$ 分别为总谐波畸变率的实测值和指标限值; $I_{H,a}$, $I_{H,b}$, $I_{H,c}$ 分别为 a, b, c 三相总谐波畸变率的统一型指标计算值。

1.4 三相不平衡指标 I_B

三相不平衡指标的计算表达式为:

$$I_{B,\alpha} = \frac{\tau_{B,\alpha}}{\tau_{B,L}} \times 100\% \quad (10)$$

$$I_B = \max(I_{B,a}, I_{B,b}, I_{B,c}) \quad (11)$$

式中: $\alpha = a, b, c$; $\tau_{B,\alpha}$ 和 $\tau_{B,L}$ 分别为三相不平衡度的实测值和指标限值; $I_{B,a}$, $I_{B,b}$, $I_{B,c}$ 分别为 a, b, c 三相不平衡度的统一型指标计算值。

1.5 电压闪变指标 I_F

电压闪变指标的计算表达式为:

$$I_{F,s} = \frac{\tau_{F,s}}{\tau_{F,Ls}} \times 100\% \quad (12)$$

$$I_{F,l} = \frac{\tau_{F,l}}{\tau_{F,Ll}} \times 100\% \quad (13)$$

$$I_F = \max(I_{F,s}, I_{F,l}) \quad (14)$$

式中: $\tau_{F,Ls}$ 和 $\tau_{F,Ll}$ 分别为电压闪变标准中规定的长、短时间电压闪变限值; $\tau_{F,s}$ 和 $\tau_{F,l}$ 分别为长、短时间电压闪变实测值。

1.6 电压波动指标 I_D

电压波动指标的计算表达式为:

$$I_{D,\alpha} = \frac{\tau_{D,\alpha}}{\tau_{D,L}} \times 100\% \quad (15)$$

$$I_D = \max(I_{D,a}, I_{D,b}, I_{D,c}) \quad (16)$$

式中: $\alpha = a, b, c$; $\tau_{D,L}$ 为电压波动标准中规定的电压波动限值; $\tau_{D,\alpha}$ 为电压波动实测值; $I_{D,a}$, $I_{D,b}$, $I_{D,c}$ 分别为 a, b, c 三相电压波动的统一型指标值。

本文采用的各项电能质量指标限值^[15]如附录 A 表 A1 所示,均对应于中国相关国家标准中规定的 110 kV 电压等级的指标限值。

2 多层次交互式权重确定方法

确定了电能质量指标体系之后,就需要确定各指标的权重,这里采用多层次交互式算法^[16]进行求解。该方法是先由上级(供电方)指定各指标权重的约束范围,再由下级(用电方)根据各自偏好确定各指标的权重,同时考虑各下级之间的平衡问题,然后由上级把下级确定的各权重进行综合,确定系统参

考权重,最后反馈给各单元,这样不断反馈迭代,直至满足系统精度要求后终止,并得到最终的参考系统权重。

假设对 n 个评估点的电能质量进行综合评估,主要考虑 m 个评估指标。对于第 i ($i = 1, 2, \dots, n$) 个评估点的电能质量,可以通过以下优化问题求解权重 w_{ij} 。

目标函数为:

$$Z_t = \min \sum_{j=1}^m x_{ij} w_{ij} \quad (17)$$

约束条件为:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^m w_{ij} = 1 \\ 0.05 \leq w_{ij} \leq 0.5 \\ \sum_{j=1}^m x_{ij} w_{ij} \leq T_i \end{cases} \quad (18)$$

式中:

$$T_i = \sum_{j=1}^m x_{ij} w_{ij} = \sum_{j=1}^m \frac{1}{m} x_{ij} \quad (19)$$

构造出一组系统权重 $\mathbf{W}^* = (w_1^*, w_2^*, \dots, w_m^*)$, 使得其与已经求得的 n 个相量角的余弦之和最大, 即有:

$$Z_H = \max \sum_{i=1}^n \cos \theta_i^* = \max \sum_{i=1}^n \frac{(w_i, w_j)}{|w_i| |w_j|} \quad (20)$$

上级确定系统参考权重后,将该权重反馈给下级,下级可以对第 1 次根据自己偏好确定的权重再次进行调整。对于第 i ($i = 1, 2, \dots, n$) 个单元,可以通过以下优化问题求解权重 w_{ij}^* 。

目标函数为:

$$Z_t = \min \sum_{j=1}^m x_{ij} w_{ij}' \quad (21)$$

约束条件类似于式(18)。

如此不断地在上、下级之间反馈调整,记上级第 m 次和第 $m-1$ 次迭代调整的系统参考权重为 $\mathbf{W}_m^*$ 和 $\mathbf{W}_{m-1}^*$,若满足条件:

$$L = \sum_{j=1}^m (w_{m,j}^* - w_{m-1,j}^*)^2 \leq \epsilon \quad (22)$$

则停止上、下级间的反馈。这样反复在上、下级之间进行迭代求解,最终得到电能质量综合评估的系统权重 $\mathbf{W}^*$ 。

3 基于雷达图法的电能质量综合评估

本文引入雷达图法进行电能质量综合评估,在传统雷达图评估方法基础上进行改进,采用新的特征量提取方式,定义综合评估函数,给出对各评估点

电能质量的定量综合评估。

3.1 雷达图法的基本原理

雷达图分析法是基于一种形似导航雷达显示屏上的图形而构建的一种多变量对比分析技术。传统的雷达图法是典型的图形分析方法,将其用于综合评估,主要是通过先绘制各评估对象的雷达图,再由评价者对照各类典型的雷达图,通过计算雷达图的相关变量给出定性评估结果。如图 1 所示为典型的用于多指标综合评估的雷达图。

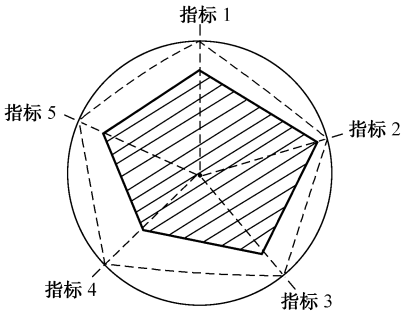


图 1 用于多指标综合评估的雷达图
Fig. 1 Radar chart for the comprehensive evaluation with multi-index

在用雷达图法进行综合评估时,其面积越大,表明评估对象的总体优势越大;面积越小,其结论相反。当一个雷达图的面积一定时,周长越小,说明其越趋近于圆,也就是说,各指标所对应的次序统计量越趋于相等,评估对象各方面的发展越协调;周长越长,其结论相反。但是,对于同一个评估对象,采用相同的指标体系,在绘制雷达图时,若指标的排列顺序不同,则雷达图的面积和周长就不同,即雷达图面积和周长具有不唯一性。

3.2 电能质量综合评估

基于上述分析,本文对雷达图的绘制及指标的代表区域进行了改进和完善,以适用于电能质量综合评估。改进后的具体实现步骤如下:

1)各指标权重的确定。各电能质量指标对评估结果的影响程度不同,为了尽量反映实际质量水平,采用多层次交互式算法确定各指标的权重系数,具体见本文第 2 节。

2)以圆心为起点,垂直向上引第 1 条射线,其长度取 1 个单位长度。然后以第 1 条射线为基础,根据第 1 个电能质量指标的权重转换为角度值 θ_1 进行第 2 条射线的绘制,其余各条射线同理绘制,分别记作 $OA,OB,\cdots$ 。如图 2 所示。

权重转换为角度值 θ_1 的计算公式为:

$$\theta_i = 360\omega_i \tag{23}$$

3)以圆心为起点,对每个扇形区域作角平分线,

该角平分线代表每个指标的坐标轴。在每条角平分线上刻画出各评估点的指标值 x_{ij} ,分别记作 $OP_1,OP_2,\cdots$ 。

4)依次连接各扇形区域的外围点,就形成了新的雷达图,并可以根据雷达图的面积、边长、周长等特征量对各评估点的电能质量进行综合定量评估。

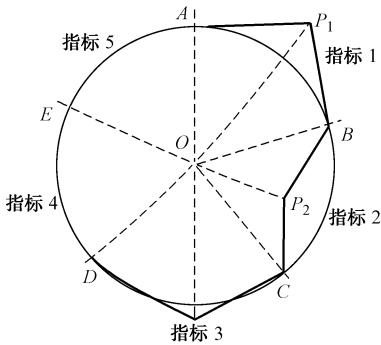


图 2 改进后的雷达图
Fig. 2 Improved radar chart

为了反映综合电能质量状况,本文将雷达图的总面积 S_i 和边长平方和 L_i 作为雷达图的特征量。取这 2 个特征量的几何平均值作为评估指标^[17],其函数表达式为:

$$f(S_i,L_i) = \sqrt{S_iL_i} \tag{24}$$

4 算例分析

本文主要针对 110 kV 电压等级电能质量指标数据进行综合评估。选择实测数据,并结合附录 A 表 A1 给出的各项电能质量指标限值标准,将其转换成统一型电能质量指标数据。这里选用文献[18]的算例数据,并转换成统一型电能质量指标数据,如表 1 所示。

表 1 统一型电能质量指标原始数据
Table 1 Original data of unified power quality indices

评估点	I_V	I_f	I_B	I_D	I_H	I_F
1	47.97	61.0	41.5	44.3	136.0	54
2	16.80	31.0	18.0	17.7	64.0	33
3	43.50	90.0	67.5	65.0	233.5	93
4	63.30	88.5	87.0	45.7	168.0	84
5	32.20	51.0	41.5	29.3	128.5	32
6	46.90	69.0	57.0	55.7	165.5	66
7	47.40	72.0	54.5	48.7	139.5	57
8	62.00	93.0	67.0	52.3	203.0	76

对于统一型电能质量指标数据,无需进行归一化处理便可用于评估,避免了归一化处理过程中可能出现的信息丢失现象。采用多层次交互式算法计算得到电能质量指标权重向量为: $\mathbf{W}^* = (0.114, 0.155, 0.095, 0.109, 0.393, 0.134)$ 。结合各项指标

的权重值,再根据式(23)计算得到雷达图中各指标所在扇形区域的角度向量为: $\theta=(0.719,0.974,0.594,0.684,2.469,0.843)$ 。

下面以评估点1为例说明雷达图法在电能质量综合评估中的应用。根据现有数据画出评估点1的雷达图,如图3所示。

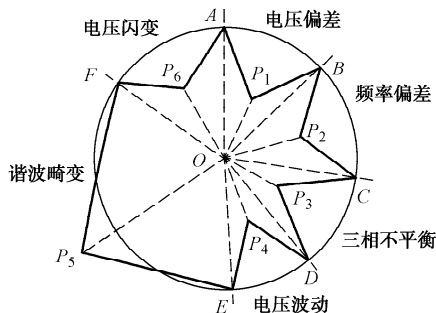


图3 评估点1的电能质量雷达图

Fig. 3 Radar chart for power quality assessment of point 1

容易计算得到该雷达图的面积 $S_1=2.229$, 边长平方和 $L_1=7.249$, 根据式(24)可得到评估点1的综合评估值为 $f(S_1, L_1)=4.020$ 。也有一些文献中提出采用雷达图周长代替边长平方和, 通过这种方式计算得到评估点1的评估值为 $f'(S_1, L_1)=4.371$ 。本文取2种评估值的平均值, 结果为4.1952。其他评估点的电能质量评估结果可类似获得, 具体评估结果和排序如附录B表B1所示。

为了便于对比, 将本文所得雷达图评估结果与文献[19-20]中给出的雷达图评估结果进行对比, 3种方法的评估结果分别如附录B表B1和图4所示。其中, 文献[19]方法是依次连接雷达图的各指标值刻度, 然后分别计算 S_i 和 L_i ; 而文献[20]方法则仅考虑雷达图中各项指标所占面积。

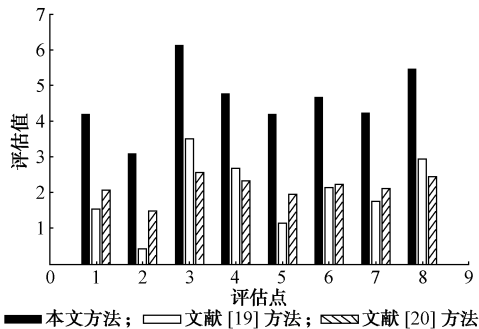


图4 3种雷达图评估方法结果对比

Fig. 4 Results comparison among three assessment methods of radar chart

从附录B表B1和图4给出的3种雷达图评估方法评估结果对比可以看出, 各评估点的电能质量

水平排序完全一致。不同点是, 本文方法给出的评估结果普遍较其他2种方法给出的评估结果大, 其好处是可以较为显著地将一些电能质量水平接近的评估点区分开来。例如: 对于评估点4和8, 文献[20]给出的综合评估值为2.3245和2.4429, 相差仅为0.1184; 而本文方法给出的综合评估值为4.7705和5.4498, 相差0.6793, 这样的差别较文献[20]明显, 也就可以很容易地区分2个评估点的电能质量水平。

总之, 本文对雷达图评估方法进行简单改进之后, 解决了评估过程中指标相对顺序会影响评估结果的问题, 并且增加了指标权重对雷达图各指标所占区域的影响, 使其更具有普遍适用性和合理性。

5 结语

为了能更加简单、直观地对电能质量进行综合评估, 本文建立了同一尺度下的统一型电能质量指标体系, 通过多层次交互式算法确定指标权重, 省去了数据归一化处理过程, 避免了可能出现的信息丢失。然后对雷达图法进行改进, 增加指标权重对应雷达图扇形区域角度的环节, 还采用四边形区域代替原始方法的三角形区域, 解决了指标相对顺序会影响评估结果的问题。采用改进后的雷达图法进行电能质量综合评估具有较好的直观性, 有助于更好地应用于电力系统中。

附录见本刊网络版(<http://aeprs.sgepri.sgcc.com.cn/aeprs/ch/index.aspx>)。

参考文献

- [1] SHIN Y J, POWERS E J, GRADY M, et al. Power quality indices for transient disturbances. IEEE Trans on Power Delivery, 2006, 21(1): 253-261.
- [2] SAIED M M. An approach to the assessment of voltage quality based on a modified power acceptability curve. IEEE Trans on Power Delivery, 2007, 22(1): 613-618.
- [3] DRIESEN J, GREEN T, CRAENENBROECK T V. The development of power quality markets// Proceedings of 2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, January 27-31, 2002, New York, NY, USA: 262-267.
- [4] 金广厚, 李庚银, 周明. 电能质量市场理论的初步探讨. 电力系统自动化, 2004, 28(12): 1-6.
JIN Guanghou, LI Gengyin, ZHOU Ming. Primary study on power quality market theory. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(12): 1-6.
- [5] 杨进, 李庚银, 周明. 基于差别定价的电能质量服务定价方法. 电力系统自动化, 2006, 30(8): 41-46.
YANG Jin, LI Gengyin, ZHOU Ming. Power quality service pricing method based on differential pricing. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(8): 41-46.
- [6] DUAN Xiangying, ZHOU Ming, LI Gengyin, et al. Synthetic

- evaluation of power quality based on fuzzy cluster analysis// Proceedings of 2006 International Conference on Power System Technology, October 22-26, 2006, Chongqing, China: 1-5.
- [7] LITRAN S P, SALMERON P, PRIETO J, et al. Improvement of the power quality with series active filter according to the IEC 61000// Proceedings of 2006 IEEE MELECON, May 16-19, 2006, Benalmadena, Malaga, Spain: 1086-1089.
- [8] NIKOLIC A, NAUMOVIC-VUKOVIC A, SKUNDRIC S, et al. Methods for power quality analysis according to EN 50160// Proceedings of the 9th International Conference on Electrical Power Quality and Utilization, October 9-11, 2007, Barcelona, Spain: 1-6.
- [9] CHANG G W. Some issues on modeling and measurements when applying IEEE Standard 519—1992// Proceedings of 2008 IEEE Power Engineering Society General Meeting, July 20-24, 2008, Pittsburgh, PA, USA: 1-3.
- [10] 陶顺. 现代电力系统电能质量评估体系的研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2008.
- [11] FARGHAL S A, KANDIL M S, ELMITWALLY A. Quantifying electric power quality via fuzzy modeling and analytic hierarchy. IEE Proceedings: Generation, Transmission and Distribution, 2002, 149(1): 44-49.
- [12] 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价中的应用. 电力系统自动化, 2007, 31(4): 56-60.
LI Lianjie, YAO Jiangang, LONG Libo, et al. Application of combination weighing method in fuzzy synthetic evaluation of power quality. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(4): 56-60.
- [13] 张蔓, 林涛, 曹健, 等. 2 种电能质量综合评估方法的分析比较. 电力系统自动化, 2008, 32(21): 37-41.
ZHANG Man, LIN Tao, CAO Jian, et al. A comparative study on two methods for synthetic evaluation of power quality. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(21): 37-41.
- [14] SIAHKALI H. Power quality indices for continue and discrete disturbances in a distribution area// Proceedings of the 2nd IEEE International Power and Energy Conference, December 1-3, 2008, Johor Bahru, Malaysia: 678-683.
- [15] 肖湘宁. 电能质量分析与控制. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [16] 梁樑, 王国华. 多层次交互式确定权重的方法. 系统工程学报, 2002, 17(4): 358-363.
LIANG Liang, WANG Guohua. Method of solving weights based on hierarchical and interactive model. Journal of Systems Engineering, 2002, 17(4): 358-363.
- [17] 郑惠莉, 刘陈, 翟丹妮. 基于雷达图的综合评价方法. 南京邮电学院学报: 自然科学版, 2001, 21(2): 75-79.
ZHENG Huili, LIU Chen, ZHAI Danni. Comprehensive evaluation method based on radar-graph. Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications: Natural Science, 2001, 21(2): 75-79.
- [18] 周林, 栗秋华, 刘华勇, 等. 用模糊神经网络模型评估电能质量. 高电压技术, 2007, 33(9): 66-69.
ZHOU Lin, LI Qiuhua, LIU Huayong, et al. Evaluation of power quality by fuzzy artificial neural network. High Voltage Engineering, 2007, 33(9): 66-69.
- [19] 魏春阳, 王信民, 蔡宏杰, 等. 基于雷达图的烤烟外观质量综合评价. 烟草科技, 2008, 37(12): 57-60.
WEI Chunyang, WANG Xinmin, CAI Xianjie, et al. Comprehensive evaluation of appearance quality of flue-cured tobacco based on radar graph. Tobacco Science and Technology, 2008, 37(12): 57-60.
- [20] 庄彦, 康重庆, 胡江溢, 等. 售电市场质量及其综合评价. 电力系统自动化, 2009, 33(3): 25-29.
ZHUANG Yan, KANG Chongqing, HU Jiangyi, et al. Quality of power sale market and its comprehensive assessment. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(3): 25-29.

李国栋(1985—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 电能质量、电力市场。

李庚银(1964—), 男, 通信作者, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 电能质量、新型输配电技术、电力市场。
E-mail: ligy@ncepu.edu.cn

杨晓东(1981—), 男, 博士研究生, 主要研究方向: 电能质量、电力市场。

A Comprehensive Power Quality Evaluation Model Based on Radar Chart Method

LI Guodong, LI Gengyin, YANG Xiaodong, ZHOU Ming

(Key Laboratory of Power System Protection and Dynamic Security Monitoring and Control Under Ministry of Education, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: Based on the limits to relevant power quality indices set in national standards, a unified power quality index system is established in the same measuring scale. This paper presents a comprehensive power quality evaluation model based on the radar chart method. First, unified power quality indices are introduced. The weight of each index is determined with the multi-level interactive algorithm. Then an improved radar chart method of the eigenvalue calculating algorithm is applied to the comprehensive evaluation of power quality, in the process of which the information loss due to data naturalization is avoided and the evaluation result is concise, clear and intuitive. Simulation results show that the evaluation method proposed is intuitive and credible and of greater realistic significance.

This work is jointly supported by Special Fund of the National Basic Research Program of China (No. 2009CB219706) and National Natural Science Foundation of China (No. 70773039, 70911130016).

Key words: power quality; unified power quality index; interactive algorithm; radar chart; comprehensive evaluation

附录 A

表 A1 各项电能质量指标限值
Table A1 Limits of power quality indices

指标	指标限值	备注
电压偏差	±10%	取上、下偏差绝对值大的
频率偏差	±0.2Hz	系统容量较小时取±0.5
三相不平衡	2%	负序电压不平衡度
电压波动	3%	电压波动频度 $r<1$
电压谐波	2%	总谐波畸变率
电压闪变	1,0.8	分别为长、短时间电压闪变值

附录 B

表 B1 不同雷达图方法的电能质量综合评估结果
Table B1 The results of power quality comprehensive assessment using different methods of radar chart

评估点	本文方法		正文文献[19]		正文文献[20]	
	结果	排序	结果	排序	结果	排序
1	4.1952	3	1.5548	3	2.0719	3
2	3.0955	1	0.43334	1	1.4847	1
3	6.1381	8	3.5133	8	2.5654	8
4	4.7705	6	2.6902	6	2.3245	6
5	4.1053	2	1.1243	2	1.9558	2
6	4.6724	5	2.1442	5	2.243	5
7	4.238	4	1.7686	4	2.1225	4
8	5.4498	7	2.9649	7	2.4429	7