

基于理想解法的电能质量综合评估

付学谦, 陈皓勇

(华南理工大学 电力学院, 广东 广州 510640)

摘要: 为避免主观性和评估结果相同的情况, 采用基于熵权的理想解法对分布式发电系统进行电能质量综合评估。理想解法通过对对象贴近理想解的程度对评估对象进行排序, 贴近理想解的程度通过计算对象与正理想解和负理想解之间的欧氏距离得到。该方法赋予权重时具有客观性, 可按综合评估指数从大到小排列评估点优劣次序。对某大型风电场数据的分析结果表明, 与突变决策方法相比, 基于理想解法的电能质量综合评估结果更加合理、精确。

关键词: 电能质量; 理想解法; 综合评估; 熵权; 分布式发电

中图分类号: TM 73

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2014.04.005

0 引言

在电网中, 分布式电源(DG)、非线性负荷和冲击负荷的不定期接入和退出电力系统, 以及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, 造成了大量电能质量问题^[1-3]。DG并网后会对用户的电能质量产生潜在的影响, 可能会引起电力系统的电压和频率偏差、电压波动、电压闪变、电压不平衡、谐波畸变和直流注入等问题^[4-5]。随着分布式发电系统占电力系统容量的比例越来越大, 分布式发电对配电网电能质量的影响越来越大。分布式发电系统电能质量的综合评估具有十分重要的意义。及时对分布式发电系统进行电能质量的综合评估, 不仅可以提升电力市场的透明度, 而且还能有效地激励分布式发电系统供电方积极主动地处理电能质量问题^[6]。

我国现有的6项电能质量标准分别对电压偏差、频率偏差、电压三相不平衡、电压波动与闪变、谐波、暂时过电压和瞬态过电压这些指标值进行限定^[7]。传统电力系统和分布式发电系统的电能质量综合评估实质是一致的, 对于不同类型的分布式发电系统在进行电能质量综合评估时可以根据需要选择不同的指标。分布式发电系统电能质量评估可以借鉴传统电力系统中的电能质量综合评估方法。目前传统的电能质量综合评估方法有人工神经网络法、基于概率统计和矢量代数的电能质量评估方法、模糊综合评估法^[8-11]等。人工神经网络法需要大量的样本来训练网络; 基于概率统计和矢量代数评估方法, 在概率分布期望值和标准差归一量化中, 基准值选取存在误差; 模糊综合评估法采用最大隶属度原则, 当

评估值在2个隶属度之间时会导致判断偏差。大部分传统电能质量评估方法在模型参数的确定上存在较大的主观性, 过多地依赖于专家的知识与经验。电能质量综合评估方法还有二阶段法^[12]和改进雷达图法^[13]。基于二阶段法的电能质量评估模型, 通过简单加权法模型对指标参数进行灵敏度计算。改进雷达图法利用所绘制雷达图的面积和周长2个变量完成对电能质量的综合评估。

针对分布式发电系统电能质量综合评估, 文献[6]提出了量化其电能质量优劣程度的突变决策模型。基于突变决策的电能质量综合评估不需要确定指标的权重, 避免了主观不确定性。然而, 重要的指标在决策评估过程中起到的作用与其他指标相同, 使得重要指标对评估结果影响减小。已有的电能质量评估方法可能会出现评估结果相同的情况, 而基于理想解法的评估方法采用双基准值, 极大地避免了评估结果相同的情况。

本文基于理想解法对分布式发电系统电能质量进行综合评估, 在确定指标权重时采用熵值法。熵值法是一种客观赋权法, 可以避免指标权重设置中主观因素的影响。基于理想解法的电能质量综合评估方法可以得出虚拟的最佳和最坏值, 通过加权欧氏距离判断评估对象的排序, 可以极大减小评估结果相同的概率, 使得分布式发电系统在电力市场环境下易于比较电能质量综合评估结果。为验证所提出方法的可行性, 对某风电场的2组电能质量数据进行综合评估, 与文献[6]的评估结果进行比较, 并对评估结果进行分析。

1 理想解法

1.1 基本原理

理想解法^[14-18]又称为TOPSIS法, 是一种有效的多指标评估方法。该方法通过构造评估问题的正理想解和负理想解, 即各指标的最优解和最劣解, 通过

收稿日期: 2013-06-13; 修回日期: 2014-02-11

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2012AA050201)

Project supported by the National High Technology Research and Development Program of China(863 Program)(2012AA050201)

计算每个方案到理想方案的相对贴近度,即靠近正理想解和远离负理想解的程度,来对评估对象进行排序,从而选出最优方案。理想解法以靠近正理想解和远离负理想解 2 个基准作为评估各对象的判断依据,因此理想解法又称为双基准法。

正理想解是一假定的最好可行解,是并不存在的虚拟最佳值,同时它的各个属性值能达到该属性的最优值。负理想解是虚拟的最坏可行解,其所有属性值都是最坏值。2 个目标的决策问题如图 1 所示^[19]。

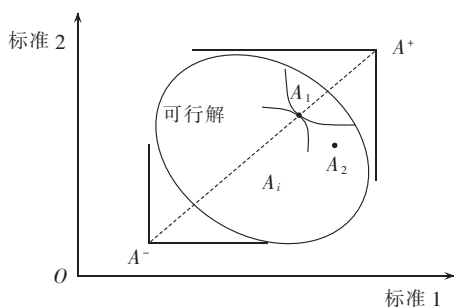


图 1 正理想解和负理想解

Fig.1 Positive and negative ideal solutions

A^+ 和 A^- 分别表示正理想解和负理想解,可行解 A_1 比 A_2 距离正理想解 A^+ 近,但并非是距离负理想解 A^- 最远的解,可行解 A_2 相比 A_1 距离负理想解 A^- 更远。

理想解法采用的是欧氏距离。若只使用正理想解,当被评估的 2 个解与正理想解的欧氏距离相同时则无法区分优劣。若同时使用正理想解和负理想解,与正理想解欧氏距离相同的 2 个解中距离负理想解更远者为更优解。

理想解法的不足是只对原始数据加权构成加权规范阵,在距离计算时没有体现权重的作用^[18]。本文对计算的欧氏距离进行加权处理,以克服该不足。

1.2 权重确定方法

熵的概念引入信息论后,用来描述通信过程中信息源信号的不确定性,是信息论中测度系统不确定性的量。熵值法是一种求解指标的客观权重方法,根据所选指标的实际信息形成决策矩阵。根据多属性信息决策中所有评估方案的固有信息,通过熵值法得到各指标的信息熵,其信息熵越小,信息无序度越低,那么其信息的效用值越大,相应指标的权重越大;相反,其信息熵越大,信息无序度越高,则其信息的效用值越小,相应指标的权重越小^[21]。由熵值法确定的指标权重大小的原始信息来源于所建立的决策矩阵,在此基础上通过客观运算形成权重^[7]。本文采用熵值法计算指标权重,设待评估点有 m 个,评估的指标有 n 个,设第 i 个评估点的第 j 个指标值为 b_{ij} ,则构成一个 m 行 n 列的评估矩阵 $B=(b_{ij})_{m \times n}$ 。采

用熵值法求解指标权重的计算步骤如下^[22-23]。

a. 实际问题中,不同变量的测量单位往往不同。为了消除变量的量纲效应,使得每个变量都具有同等的表现力,对待评估矩阵数据进行标准化处理。常用的属性规范化方法有:线性变换、标准 0-1 变换、区间型属性的变换、向量规范化等方法^[24]。本文采用标准 0-1 变换,设第 i 个评估点的第 j 个指标值规范化后为 b_{ij}^* 。

当指标为正指标时,即指标值越大越好,指标的标准化公式为:

$$b_{ij}^* = \frac{b_{ij} - \min_j b_{ij}}{\max_j b_{ij} - \min_j b_{ij}} \quad i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n \quad (1)$$

当指标为逆指标时,即指标值越小越好,指标的标准化公式为:

$$b_{ij}^* = \frac{\max_j b_{ij} - b_{ij}}{\max_j b_{ij} - \min_j b_{ij}} \quad i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n \quad (2)$$

经过线性比例变换之后,正、逆向指标均化为正向指标,最优值和最劣值分别为 1 和 0。

b. 依据标准化决策矩阵,求第 i 个评估样本第 j 个指标的特征比重:

$$p_{ij} = \frac{b_{ij}^*}{\sum_{i=1}^m b_{ij}^*} \quad j=1,2,\dots,n \quad (3)$$

其中, $0 < p_{ij} < 1$ 。

c. 第 j 个指标的熵值为:

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad j=1,2,\dots,n \quad (4)$$

由文献^[25]可知,对于特殊情况,即 $p_{ij}=0$ 时,取 $\ln p_{ij}=0$ 。

d. 第 j 个指标的差异系数:

$$g_j = 1 - e_j \quad j=1,2,\dots,n \quad (5)$$

e. 第 j 个指标的熵权重为:

$$w_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^n g_j} \quad j=1,2,\dots,n \quad (6)$$

1.3 算法步骤

基于理想解法的综合评估方法具体步骤如下。

a. 构成加权规范阵 $C=(c_{ij})_{m \times n}$ 。设给定各属性的权重向量为 $w=[w_1, w_2, \dots, w_n]^T$, 则:

$$c_{ij} = w_j b_{ij} \quad i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n \quad (7)$$

b. 确定评估系统的正理想解 A^+ 和负理想解 A^- 。设正理想解 A^+ 的第 j 个属性值为 c_j^+ , 负理想解 A^- 的第 j 个属性值为 c_j^- , 有:

$$A^+ = \begin{cases} \max c_{ij} & i=1,2,\dots,m; j \in J^+ \\ \min c_{ij} & i=1,2,\dots,m; j \in J^- \end{cases} \quad (8)$$

$$A^- = \begin{cases} \min c_{ij} & i=1,2,\dots,m; j \in J^+ \\ \max c_{ij} & i=1,2,\dots,m; j \in J^- \end{cases} \quad (9)$$

其中, $J^+ = \{\text{效益型属性指标集合}\}$, $J^- = \{\text{成本型属性指标集合}\}$ 。所谓效益型属性指标是指属性值越大越好的指标, 效益型属性指标集合即正指标集合; 成本型属性指标是指属性值越小越好的指标, 成本型属性指标集合即逆指标集合。

c. 计算各评估对象到正理想解和负理想解的加权欧氏距离:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n w_j^2 (c_{ij} - c_j^+)^2} \quad i = 1, 2, \cdots, m \quad (10)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n w_j^2 (c_{ij} - c_j^-)^2} \quad i = 1, 2, \cdots, m \quad (11)$$

d. 计算评估对象的综合评估指数:

$$f_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad i = 1, 2, \cdots, m \quad (12)$$

e. 按照综合评估指数 f_i 大小对评估对象进行优劣次序排序, f_i 越大则评估对象越优。

2 电能质量综合评估的理想解法

对文献[26]中的风电场 5 个主要变电站母线节点电能质量实测数据, 采用理想解法进行综合评估。各观测母线从 1 到 5 进行编号, 相关电能质量监测数据如表 1 所示。

各指标量均为逆指标, 具有成本型属性, 指标值越小越好。根据式(2)和(3), 对各指标进行标准化处

表 1 电能质量监测数据
Tab.1 Measured power quality data

母线	频率偏差/Hz	电压偏差/%	电压波动/%	电压闪变	谐波电压/%	三相不平衡/%
1	0.09	2.53	0.96	0.22	1.12	0.88
2	0.04	1.66	1.05	0.34	1.26	1.07
3	0.19	3.85	1.41	0.47	1.18	0.83
4	0.11	2.01	0.85	0.38	0.82	0.58
5	0.07	3.18	1.27	0.53	1.35	1.23

理得到特征比重矩阵 P , 如表 2 所示。

熵值法计算得到的各指标熵值权重向量为 $w = [0.126\ 304, 0.153\ 005\ 635, 0.161\ 241\ 634, 0.181\ 049\ 85, 0.212\ 929, 0.165\ 469\ 005]^T$, 对原始数据规范化后加权得到加权规范阵, 如表 3 所示。

采用理想解法求得的待评估母线的电能质量的综合评估指数值、与正理想解和负理想解的加权欧氏距离值以及文献[6]采用突变决策方法计算的电能质量综合评估指标值如表 4 所示。

基于理想解法得到的电能质量综合评估指数 f_i , 可以确定各监测母线的电能质量优劣排序为母线 4 > 母线 1 > 母线 2 > 母线 3 > 母线 5, 而应用突变决策的电能质量排序为母线 4 > 母线 1 > 母线 2 > 母线 5 > 母线 3。其中, > 为优先序号。文献[6]假定电能质量各指标的重要性的排序都是可能的, 最终评估结果为各种排序的平均值, 各指标在突变决策评估

表 2 特征比重矩阵
Tab.2 Feature proportion matrix

母线	P					
	频率偏差	电压偏差	电压波动	电压闪变	谐波电压	三相不平衡
1	0.222 222	0.219 269 103	0.298 013 245	0.436 619 718	0.225 490	0.224 358 974
2	0.333 333	0.363 787 375	0.238 410 596	0.267 605 634	0.088 235	0.102 564 103
3	0	0	0	0.084 507 042	0.166 667	0.256 410 256
4	0.177 778	0.305 647 841	0.370 860 927	0.211 267 606	0.519 608	0.416 666 667
5	0.266 667	0.111 295 681	0.092 715 232	0	0	0

表 3 加权规范化矩阵
Tab.3 Normalized weighted matrix

母线	加权规范阵					
	频率偏差	电压偏差	电压波动	电压闪变	谐波电压	三相不平衡
1	0.084 203	0.092 222 575	0.129 569 170	0.181 049 850	0.092 403	0.089 098 695
2	0.126 304	0.153 005 635	0.103 655 336	0.110 966 037	0.036 158	0.040 730 832
3	0	0	0	0.035 041 906	0.068 298	0.101 827 080
4	0.067 362	0.128 552 680	0.161 241 634	0.087 604 766	0.212 929	0.165 469 005
5	0.101 044	0.046 809 943	0.040 310 408	0	0	0

表 4 电能质量综合评估结果
Tab.4 Results of comprehensive power quality evaluation

母线	正理想解距离	负理想解距离	综合评估指数	突变决策
1	0.030 970	0.049 271	0.614 036	0.830 3
2	0.045 717	0.039 878	0.465 892	0.810 5
3	0.056 891	0.023 144	0.289 172	0.457 7
4	0.018 859	0.064 746	0.774 431	0.899 5
5	0.067 336	0.016 013	0.192 120	0.496 0

过程中起到的作用相同。然而, 若不对属性权重进行适当的处理, 会造成评估决策方案的失真。本文根据各项电能指标值的变异程度, 利用信息熵计算出各指标的权重, 为电能质量多指标综合评估提供依据。从标准数量的角度考虑, 突变决策为单一基准, 采用突变决策对电能质量进行评估可能会出现评估结果相同的情况。理想解法为双基准, 可以降低电能质量

评估结果相同的概率。故采用理想解法更易于区分被评估的分布式发电系统电能质量的优劣。

利用理想解法对分布式发电系统在一个评估时间段内电能质量总体情况进行评估,并与文献[6]评估结果比较,数据来源为文献[26]的风电场。2007年某评估时间段内,该风电场 6 个指标隶属于各等级的时间比例如表 5 所示。

表 5 各项电能质量指标在各等级之间的时间分布律
Tab.5 Time distribution of power quality indexes in different ranks

等级	比例					
	频率偏差	电压偏差	电压波动	电压闪变	谐波电压	三相不平衡
1	0.03	0.05	0.13	0.10	0.08	0.03
2	0.08	0.15	0.37	0.13	0.10	0.07
3	0.12	0.58	0.22	0.35	0.17	0.28
4	0.45	0.13	0.10	0.39	0.60	0.47
5	0.32	0.09	0.18	0.03	0.05	0.15

各项指标均为正指标,按照式(1)进行无量纲处理。采用理想解法求得的综合评估指数值、与正理想解和负理想解的加权欧氏距离值以及文献[6]采用突变决策方法计算的综合评估指标值如表 6 所示。

表 6 电能质量综合评估结果
Tab.6 Results of comprehensive power quality evaluation

等级	正理想解距离	负理想解距离	综合评估指数	突变决策
1	0.076 861	0.004 791	0.058 674	0.069 2
2	0.067 335	0.022 712	0.252 224	0.174 3
3	0.078 481	0.058 729	0.428 021	0.237 6
4	0.042 077	0.064 252	0.604 274	0.306 9
5	0.072 707	0.017 227	0.191 552	0.212 1

通过理想解法综合评估指数可以确定该风电场整体电能质量综合评估排序为 4 级>3 级>2 级>5 级>1 级,而应用突变决策的电能质量排序为 4 级>3 级>5 级>2 级>1 级。本文评估的结果与突变决策理论评估结果大致一致,仅是等级 2 和等级 5 排序不同。仅从指标数量上看等级 2 有 4 项指标(电压偏差、电压波动、电压闪变和谐波电压)优于等级 5,而等级 5 仅有 2 项指标(频率偏差和三相不平衡)优于等级 2。从更优指标数、权重和基准数的角度考虑,理想解法的评估结果更为合理。

3 结论

对于分布式发电系统电能质量综合评估问题,本文引入理想解法计算电能质量综合评估指标。在确定各电能质量评估指标权重时采用熵值法,避免了多因素权重确定的主观性。通过对某风电场电能质量综合评估结果进行分析,验证了采用理想解法进行综合评估的有效性、合理性。基于理想解法的电能质量综合评估可以从评估数据之间的加权距离关系反映评估结果的优劣情况,可以很好地克服使

用单一标准造成评估结果不够全面的缺点,并极大地减小了评估结果相同的概率。

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,2003,23(10):1-4.
YANG Honggeng,XIAO Xianyong,LIU Junyong. Issue and technology assessment on power quality,part 1:general concepts on power quality[J]. Electric Power Automation Equipment,2003,23(10):1-4.

[2] SHIN Y J,POWERS E I,GRAD Y. Power quality indices for transient disturbances[J]. IEEE Trans on Power Delivery,2006,21(1):253-261.

[3] SAIED M M. An approach to the assessment of voltage quality based on a modified power acceptability curve[J]. IEEE Trans on Power Delivery,2007,22(1):613-618.

[4] 梁有伟,胡志坚,陈允平. 分布式发电及其在电力系统中的应用研究综述[J]. 电网技术,2003,27(12):71-75,88.
LIANG Youwei,HU Zhijian,CHEN Yunping. A survey of distributed generation and its application[J]. Power System Technology,2003,27(12):71-75,88.

[5] 丁明,王敏. 分布式发电技术[J]. 电力自动化设备,2004,24(7):31-36.
DING Ming,WANG Min. Distributed generation technology [J]. Electric Power Automation Equipment,2004,24(7):31-36.

[6] 曾正,杨欢,赵荣祥. 基于突变决策的分布式发电系统电能质量综合评估[J]. 电力系统自动化,2011,35(21):52-57.
ZENG Zheng,YANG Huan,ZHAO Rongxiang. A catastrophe decision theory based power quality comprehensive evaluation method for distributed generation system[J]. Automation of Electric Power Systems,2011,35(21):52-57.

[7] 刘俊华,罗隆福,张志文,等. 一种考虑排序稳定分析的电能质量综合评估新方法[J]. 中国电机工程学报,2013,33(1):70-76.
LIU Junhua,LUO Longfu,ZHANG Zhiwen,et al. A new method for power quality comprehensive evaluation considering the analysis of sequence stability[J]. Proceedings of the CSEE,2013,33(1):70-76.

[8] 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估[J]. 电网技术,2005,29(6):11-15.
ZHAO Xia,ZHAO Chengyong,JIA Xiufang,et al. Fuzzy synthetic evaluation of power quality based on changeable weight[J]. Power System Technology,2005,29(6):11-15.

[9] 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 Lianjie,YAO Jiangang,LONG Libo,et al. Application of combination weighing method in fuzzy syntheticevaluation [J]. Automation of Electric Power Systems,2007,31(4):56-60.

[10] 周林,栗秋华,张凤,等. 用模糊神经网络模型评估电能质量[J]. 高电压技术,2007,33(9):66-69.
ZHOU Lin,LI Qiuhua,ZHANG Feng,et al. Evaluation of power quality by fuzzy artificial neural network [J]. High Voltage Engineering,2007,33(9):66-69.

[11] 江辉,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 Jianchun,OU Yaping,et al. Power quality

- unitary quantification and evaluation based on probability and vector algebra[J]. Journal of Hunan University: Natural Sciences, 2003, 30(1): 66-70.
- [12] 荆朝霞, 胡仁. 基于二阶段法的电能质量评估及其灵敏度分析[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(7): 57-62.
- JING Zhaoxia, HU Ren. Power quality evaluation based on two-stage method and its sensitivity analysis[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(7): 57-62.
- [13] 乔鹏程, 吴正国, 李辉. 基于改进雷达图法的电能质量综合评估方法[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(6): 88-92.
- QIAO Pengcheng, WU Zhengguo, LI Hui. Power quality synthetic evaluation based on improved radar chart[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(6): 88-92.
- [14] WANG Tienchin, HSU Jochien. Evaluation of the business operation performance of the listing companies by applying TOPSIS method [C]//2004 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Hague, Netherlands: [s.n.], 2004: 1286-1291.
- [15] SHIH Hsushih, LIN Wenyuan, LEE E S. Group decision making for TOPSIS[C]//IFSA World Congress and 20th NAFIPS International Conference. Vancouver, BC, Canada: [s.n.], 2001: 2712-2717.
- [16] SAGHAFIAN S, HEJAZI S R. Multi-criteria group decision making using a modified fuzzy TOPSIS procedure[C]//International Conference on Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation, 2005 and International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce. Vienna, Austria: [s.n.], 2005: 215-221.
- [17] 马荣国, 杨申琳, 李铁强. 基于理想解法的偏好物元评价决策方法[J]. 交通运输工程学报, 2004, 4(4): 76-78.
- MA Rongguo, YANG Shenlin, LI Tieqiang. Evaluation and decision making method of preference matter element based on TOPSIS[J]. Journal of Traffic and Transportation, 2004, 4(4): 76-78.
- [18] 胡然, 唐忠, 刘冰峰, 等. 基于理想解法的相控阵雷达系统效能评估方法[J]. 舰船电子工程, 2012, 32(10): 65-67.
- HU Ran, TANG Zhong, LIU Bingfeng, et al. Phased array radar system effect evaluation based on entropy weighting and TOPSIS [J]. Ship Electronic Engineering, 2012, 32(10): 65-67.
- [19] 柯宏发, 陈永光, 王国玉, 等. 基于理想解的装备训练模式灰关联评估算法[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(15): 3402-3405.
- KE Hongfa, CHEN Yongguang, WANG Guoyu, et al. Grey relational assessment algorithm for equipment training mode based on ideal solution[J]. Journal of System Simulation, 2007, 19(15): 3402-3405.
- [20] SHYUR H J. COTS evaluation using modified TOPSIS and ANP[J]. Applied Mathematics and Computation, 2006, 177(1): 251-259.
- [21] 孙涛. 基于熵值法和改进的理想点法的建设项目多目标综合优化[D]. 重庆: 重庆大学, 2010.
- SUN Tao. Multi-objective synthesis optimization of construction projects based on entropy method and the improved TOPSIS method[D]. Chongqing: Chongqing University, 2010.
- [22] 侯勇, 张荣乾, 谭忠富, 等. 基于模糊聚类 and 灰色理论的各行业与全社会用电量关联分析[J]. 电网技术, 2006, 30(2): 46-50.
- HOU Yong, ZHANG Rongqian, TAN Zhongfu, et al. Correlative analysis of power consumption for various industries to whole society based on fuzzy clustering and grey theory[J]. Power System Technology, 2006, 30(2): 46-50.
- [23] 周淦, 任海军, 李健, 等. 层次结构下的中长期电力负荷变权组合预测方法[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(16): 47-52.
- ZHOU Quan, REN Haijun, LI Jian, et al. Variable weight combination method for mid-long term power load forecasting based on hierarchical structure[J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(16): 47-52.
- [24] 司守奎. 数学建模算法和应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012: 346-350.
- [25] 胡元潮, 阮羚, 阮江军, 等. 基于改进逼近理想点法的变电站智能化改造评估[J]. 电网技术, 2012, 36(10): 42-48.
- HU Yuanchao, RUAN Ling, RUAN Jiangjun, et al. Evaluation on intelligent renovation of substations based on improved TOPSIS [J]. Power System Technology, 2012, 36(10): 42-48.
- [26] 胡文锦, 武志刚, 张尧, 等. 风电场电能质量分析与评估[J]. 电力系统及其自动化学报, 2009, 21(4): 82-87.
- HU Wenjin, WU Zhigang, ZHANG Yao, et al. Analysis and evaluation on the electric power quality of the wind farm [J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 21(4): 82-87.

作者简介:



付学谦

付学谦(1985-), 男, 河北保定人, 博士研究生, 主要研究方向为电能质量分析与控制、分布式发电优化规划与运行(E-mail: fuxueqian@ncepu.edu.cn);

陈皓勇(1975-), 男, 湖南岳阳人, 教授, 博士研究生导师, 博士, 通讯作者, 主要研究方向为电力市场、电力系统优化规划与运行(E-mail: eehychen@scut.edu.cn)。

Comprehensive power quality evaluation based on TOPSIS approach

FU Xueqian, CHEN Haoyong

(School of Electric Power, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: In order to avoid subjectivity and similarity, TOPSIS approach based on entropy weight is applied in the comprehensive evaluation of power quality for distributed power generation system, which ranks the objectives according to their calculated Euclidean distances to positive and negative ideal solutions. It assigns the weights objectively and ranks the evaluation points according to the comprehensive evaluation index. Results of data analysis for a large-scale wind farm show that, compared to the catastrophe decision method, the power quality evaluated by the proposed TOPSIS approach is more rational and accurate.

Key words: power quality; TOPSIS; comprehensive evaluation; entropy weight; distributed power generation