

# 基于熵权未确知测度模型的电能质量综合评价

贾正源, 赵亮

(华北电力大学经济管理系, 河北 保定 071003)

**摘要:** 根据国家的相关标准制定了电能质量的评价指标及各指标的分级情况, 利用熵权系数法确定了各时段点权重向量, 进一步采用未确知测度理论建立了对电能质量评价的未确知测度模型, 利用置信度识别准则对各时段点的电能质量进行了等级划分, 并且根据得分情况对各时段点的电能质量进行了排序比较。通过实证检验表明, 基于熵权未确知测度的评价模型可以全面、有效地对电能质量进行综合评价。

**关键词:** 电能质量; 熵权; 未确知测度; 置信度识别准则; 综合评价

## Comprehensive evaluation of power quality based on the model of entropy weight and unascertained measure

JIA Zheng-yuan, ZHAO Liang

(School of Economics and Management, North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

**Abstract:** According to the national standard, this paper presents the evaluation indexes of power quality and the classifications of each index. Then it determines the weight vector of each period point by entropy weight coefficient method. Also, it establishes an unascertained measure model for power quality evaluation by the unascertained measure theory. Finally it grades the power quality of each period point by the confidence recognition criteria and carries out a sorting based on the score. The test shows that the evaluation model based on the entropy weight and unascertained measure can evaluate the power quality comprehensively and effectively.

**Key words:** power quality; entropy weight; unascertained measure; confidence identification criteria; comprehensive evaluation

中图分类号: TM60 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)15-0033-05

## 0 引言

电力市场是中国商业市场中的一个重要组成部分, 它是影响中国整个商业市场的命脉市场。在电力市场环境中, 电能作为主要商品向广大用户提供服务。作为一种商品, 电能同样具有一切商品共有的质量属性。依据电能综合指标的优劣对电能按质定价已成为电力市场发展的必然趋势, 但由于电能质量由多种关系比较模糊、复杂的因素决定, 加之电力系统本身结构的复杂化, 使得电能指标难以统一进行量化。因此, 在电力市场建立一套系统、公开、公正、客观的电能质量综合评价模式和方案是迫切需要的。

当前, 常见的电能质量评价方法主要是模型树理论<sup>[1]</sup>、属性识别理论<sup>[2]</sup>、模糊综合评价理论<sup>[3]</sup>。这种方法是基于模糊综合评判原理对电能质量进行评价的, 但它缺少对各项指标相互之间隶属关系的量化处理, 使得该方法的使用具有一定的局限性。在

本文中, 根据电能质量各项评价指标的差异程度利用熵权来确定各项指标的权重, 又结合未确知测度模型对电能质量进行了综合评价, 这样更好地对电能质量进行等级区分及对电能质量进行了定量评价。

## 1 电能质量评价指标权重系数的确定

### 1.1 电能质量评价指标及国家相关标准

IEEE 技术协调委员会给出电能质量相应的技术定义为<sup>[4-5]</sup>: 给敏感设备提供的电力和设置的接地系统都是适合于该设备正常工作的电能质量称为合格的电能质量。我国颁布的电能质量指标主要包括: 供电电压允许偏差、电压波动和闪变、公用电网谐波含量、三相电压不平衡度、电力系统允许频率偏差、暂时过电压和瞬态过电压。

本文以 110 kV 配电网为例, 按照已颁布的国家标准, 以电能质量由优至劣的顺序将各项指标分为 I、II、III、IV、V 五类, 分级结果如表 1 所示。

表 1 110 kV 配电网电能质量指标及分级相关标准<sup>[1-2]</sup>  
Tab.1 Power quality indexes and their grading standard of 110 kV distribution network<sup>[1-2]</sup>

指标	I	II	III	IV	V
供电电压偏差 / %	1	3	5	7	10
电压波动 / %	1	2	3.5	5	6
电压长时闪变 / %	0.16	0.32	0.48	0.64	0.80
电压短时闪变 / %	0.12	0.24	0.36	0.48	0.60
谐波畸变率 / %	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0
三项不平衡度 / %	0.5	1	1.5	2	4
频率偏差 / Hz	0.08	0.10	0.15	0.20	0.50

### 1.2 评价指标的熵权系数确定

熵的概念起源于热力学,最早由克劳修斯提出,用于描述系统的状态。后来,有申农将熵引入到信息论,并在许多领域得到应用<sup>[6]</sup>。

假设对  $m$  个评价对象用  $n$  个指标去评价,得到评价矩阵为:

$$Y = (y_{ij})_{m \times n} = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \cdots & y_{mn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

式中:  $y_{ij}$  表示评价对象  $i$  用指标  $j$  进行评价得到的评价价值。而  $y_j^*$  是评价指标  $j$  的理想值。 $y_j^*$  的大小因评价指标的特性而有所区别:对于收益性指标,  $y_j^*$  值越大越好;对于成本性指标,  $y_j^*$  值越小越好。

$$y_j^* = \begin{cases} \max\{y_{ij}\} & \text{收益性指标} \\ \min\{y_{ij}\} & \text{成本性指标} \end{cases} \quad (2)$$

评价指标值  $y_{ij}$  与理想值  $y_j^*$  的接近程度可以表示为:

$$D_{ij} = \begin{cases} y_{ij}/y_j^* & y_j^* = \max\{y_{ij}\} \\ y_j^*/y_{ij} & y_j^* = \min\{y_{ij}\} \end{cases} \quad (3)$$

由此,评价指标  $j$  对评价对象的相对重要程度的不确定性可由下列条件的熵来度量:

$$E = -\sum_{i=1}^m \frac{d_{ij}}{d_j} \ln \frac{d_{ij}}{d_j} \quad (4)$$

$$\text{其中: } d_j = \sum_{i=1}^m d_{ij} \quad (5)$$

为便于综合评价,现将  $E$  作归一化处理得到评价指标  $j$  的评价权重系数为:

$$\theta_j = \frac{1}{n - \sum_{j=1}^n e(d_j)} [1 - e(d_j)] \quad (6)$$

$$\text{其中: } e(d_j) = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m \frac{d_{ij}}{d_j} \ln \frac{d_{ij}}{d_j} \quad (7)$$

式 (7) 为对  $E$  作归一化处理后的熵值。

## 2 未确知测度评价模型

设  $X_1, X_2, \dots, X_n$  表示要评价的  $n$  个时段点电能质量,  $I_1, I_2, \dots, I_m$  表示评价电能质量的  $m$  项指标。 $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$  称为论域,  $I = \{I_1, I_2, \dots, I_m\}$  称为指标空间。有  $k$  个评价等级  $C_1, C_2, \dots, C_k$ , 记为  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$ , 若  $C_1 > C_2 > \dots > C_k$  或  $C_1 < C_2 < \dots < C_k$ , 则将  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$  称为评价等级空间  $C$  的一个有序分割类<sup>[7-9]</sup>。在每一个指标的分类标已知的情况下,可以写成标准矩阵形式为:

$$\begin{matrix} C_1 & C_2 & \cdots & C_k \\ \begin{pmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \cdots & \gamma_{1k} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \cdots & \gamma_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma_{m1} & \gamma_{m2} & \cdots & \gamma_{mk} \end{pmatrix} & I_1 \\ & & & I_2 \\ & & & \vdots \\ & & & I_m \end{matrix} \quad (8)$$

其中,  $\gamma_{j1} < \gamma_{j2} < \dots < \gamma_{jk}$  或  $\gamma_{j1} > \gamma_{j2} > \dots > \gamma_{jk}$ 。

### 2.1 单指标未确知测度的确定

首先,计算第  $i$  个时段点电能质量的第  $j$  个指标值  $x_{ij}$  属于等级  $C_k$  类的未确知测度  $\mu_{ijk} = \mu(x_{ij} \in C_k)$ <sup>[7-9]</sup>。

设  $\gamma_{j1} < \gamma_{j2} < \dots < \gamma_{jk}$ , 则有以下三种情况:

当  $x_{ij} \leq \gamma_{j1}$  时, 取  $\mu_{ij1} = 1, \mu_{ij2} = \mu_{ij3} = \dots =$

$\mu_{ijk} = 0$ ;

当  $x_{ij} \geq \gamma_{jk}$  时, 取  $\mu_{ij1} = \mu_{ij2} = \dots = \mu_{ijk-1} = 0,$

$\mu_{ijk} = 1$ ;

当  $\gamma_{jl} \leq x_{ij} \leq \gamma_{j,l+1}$  时, 取  $\mu_{ijl} = \frac{\gamma_{j,l+1} - x_{ij}}{\gamma_{j,l+1} - \gamma_{jl}},$

$\mu_{ijl} = \frac{x_{ij} - \gamma_{jl}}{\gamma_{j,l+1} - \gamma_{jl}}, \mu_{ij1} = \mu_{ij2} = \dots = \mu_{ij,l-1} = 0,$

$$\mu_{ijl+2} = \mu_{ijl+3} = \dots = \mu_{ijk} = 0。$$

## 2.2 多指标综合测度的确定

由熵权系数权重法, 可以求出第  $i$  个时段点电能质量的指标权重向量为  $\omega_i$  为:

$$\omega_i = (\omega_{i1}, \omega_{i2}, \dots, \omega_{im}) \quad (9)$$

第  $i$  个时段点电能质量  $x_i$  的评价向量  $\mu_i$  为:

$$\begin{aligned} \mu_i &= \omega_i \cdot (\mu_{ijk})_{m \times k} = \\ &(\omega_{i1}, \omega_{i2}, \dots, \omega_{im}) \cdot \begin{pmatrix} \mu_{i11} & \mu_{i12} & \dots & \mu_{i1k} \\ \mu_{i21} & \mu_{i22} & \dots & \mu_{i2k} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \mu_{im1} & \mu_{im2} & \dots & \mu_{imk} \end{pmatrix} = \\ &\left( \sum_{j=1}^m \omega_{ij} \cdot \mu_{ij1}, \sum_{j=1}^m \omega_{ij} \cdot \mu_{ij2}, \dots, \sum_{j=1}^m \omega_{ij} \cdot \mu_{ijk} \right) = \\ &(\mu_{i1}, \mu_{i2}, \dots, \mu_{ik}) \end{aligned} \quad (10)$$

其中:  $\mu_{il} (1 \leq l \leq K)$  表示第  $i$  个时段点电能质量  $x_i$  处于等级  $C_k$  类的未确知测度。

## 2.3 识别准则<sup>[10]</sup>

由于评价等级划分是有序的, 最大隶属度识别准则并不适用。因此, 这里选用置信度识别准则, 取置信度  $\lambda (0.5 < \lambda < 1)$ , 通常取 0.6 或 0.7<sup>[7-9]</sup>。

若

$$k_i = \min \left\{ k : \sum_{l=1}^k \mu_{il} \geq \lambda, 1 \leq l \leq k \right\} \quad (11)$$

则判定第  $i$  个时段点电能质量  $x_i$  属于第  $k$  个评价等级  $C_k$ 。

可以按照评分准则计算各时段点电能质量得分, 公式为:

$$q_{x_i} = \sum_{l=1}^k n_l \mu_{il} \quad (12)$$

其中:  $n_l$  表示等级  $C_k$  的分值。

由此, 可以根据  $q_{x_i}$  的大小对各个时段点的电能质量进行比较排序。

## 3 算例应用

本文使用的数据为某电力公司提供的 5 个时段点的 110 kV 变电站母线实测数据 (以 A 相数据为例), 这些数据主要针对供电电压偏差、电压波动、电压短时闪变、谐波畸变率、三项不平衡度、频率偏差六个指标, 如表 2 所示。

表 2 某电力公司 110 kV 配电网电能质量指标实测数据  
Tab.2 Real-time measured data of power quality index of one power company

指标	1	2	3	4	5
供电电压偏差 / %	5.32	6.43	4.08	6.19	5.82
电压波动 / %	1.721	0.191	0.348	2.803	0.396
电压短时闪变 / %	1.526	0.156	0.298	1.521	0.337
谐波畸变率 / %	0.158	0.139 0	1.630	2.100	0.482
三项不平衡度 / %	0.094	0.237	0.390	1.003	0.517
频率偏差 / Hz	0.049	0.067	0.032	0.198	0.038

### 3.1 单指标未确知测度矩阵的确定

以第 1 个时段点为例:

供电电压偏差:  $\mu_{111} = \mu_{112} = \mu_{115} = 0$ ,

$$\mu_{113} = \frac{7-5.32}{7-5} = 0.84, \quad \mu_{114} = \frac{5.32-5}{7-5} = 0.16;$$

电压波动:  $\mu_{121} = \frac{2-1.721}{2-1} = 0.279$ ,

$$\mu_{121} = \frac{1.721-1}{2-1} = 0.721, \quad \mu_{123} = \mu_{124} = \mu_{125} = 0;$$

电压短时闪变:  $\mu_{131} = \mu_{132} = \mu_{133} = \mu_{134} = 0$ ,

$\mu_{135} = 1$ ;

谐波畸变率:  $\mu_{141} = 1, \mu_{142} = \mu_{143} = \mu_{144} = \mu_{145} = 0$ ;

三项不平衡度:  $\mu_{151} = 1, \mu_{152} = \mu_{153} = \mu_{154} = \mu_{155} = 0$ ;

频率偏差:  $\mu_{161} = 1, \mu_{162} = \mu_{163} = \mu_{164} = \mu_{165} = 0$ 。

由此可以得到第 1 个时段点单指标未确知测度矩阵为:

$$(\mu_{1jk})_{6 \times 5} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0.84 & 0.16 & 0 \\ 0.279 & 0.721 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

同理可以得到第 2~4 个时段点单指标未确知测度矩阵为:

$$(\mu_{2jk})_{6 \times 5} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0.285 & 0.715 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.525 & 0.475 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} (\mu_{3,jk})_{6 \times 5} &= \begin{pmatrix} 0 & 0.46 & 0.54 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.517 & 0.483 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.925 & 0.075 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ (\mu_{4,jk})_{6 \times 5} &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0.405 & 0.595 & 0 \\ 0 & 0.465 & 0.535 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0.994 & 0.006 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.04 & 0.96 & 0 \end{pmatrix} \\ (\mu_{5,jk})_{6 \times 5} &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0.59 & 0.41 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.192 & 0.808 & 0 & 0 \\ 0.795 & 0.205 & 0 & 0 & 0 \\ 0.966 & 0.034 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

### 3.2 熵权系数权重的确定

由前面的熵权系数权重法公式 (1) ~ (9) 可以得到 5 个时段点的权重向量分别为:

$$\begin{aligned} \omega_1 &= (0.135, 0.117, 0.187, 0.187, 0.187, 0.187) \\ \omega_2 &= (0.130, 0.208, 0.129, 0.117, 0.208, 0.208) \\ \omega_3 &= (0.115, 0.201, 0.114, 0.168, 0.201, 0.201) \\ \omega_4 &= (0.115, 0.114, 0.199, 0.199, 0.195, 0.178) \\ \omega_5 &= (0.119, 0.205, 0.143, 0.141, 0.187, 0.205) \end{aligned}$$

### 3.3 多指标综合测度的确定

由式 (10) 可以得到各个时段点电能质量的多指标综合测度为:

$$\begin{aligned} \mu_1 &= \omega_1 \cdot (\mu_{1,jk})_{6 \times 5} = (0.594, 0.084, 0.113, 0.022, 0.187) \\ \mu_2 &= \omega_2 \cdot (\mu_{2,jk})_{6 \times 5} = (0.714, 0.039, 0.098, 0.149, 0) \\ \mu_3 &= \omega_3 \cdot (\mu_{3,jk})_{6 \times 5} = (0.603, 0.100, 0.106, 0.176, 0.015) \\ \mu_4 &= \omega_4 \cdot (\mu_{4,jk})_{6 \times 5} = (0, 0.257, 0.092, 0.245, 0.406) \\ \mu_5 &= \omega_5 \cdot (\mu_{5,jk})_{6 \times 5} = (0.706, 0.061, 0.185, 0.048, 0) \end{aligned}$$

### 3.4 识别与排序

由置信度识别准则, 取置信度  $\lambda = 0.7$ , 对于  $\mu_1$  根据式 (11) 可以得到:  $0.594 + 0.084 + 0.113 = 0.791 > 0.7$ 。

由此可以得到第一个时段点电能质量等级为 III 级, 类似地可以得到第二、三、四、五时段点电能质量等级分别为 I 级、II 级、V 级、I 级。

按照评分准则由式 (12) 可以计算 5 个时段点电能质量的得分, 取  $n_l = k - l + 1$ , 则:

$$\begin{aligned} q_{x_1} &= \sum_{l=1}^5 n_l \cdot \mu_1^T = 3.876 ; & q_{x_2} &= \sum_{l=1}^5 n_l \cdot \mu_2^T = 4.318 ; \\ q_{x_3} &= \sum_{l=1}^5 n_l \cdot \mu_3^T = 4.100 ; & q_{x_4} &= \sum_{l=1}^5 n_l \cdot \mu_4^T = 2.108 ; \\ q_{x_5} &= \sum_{l=1}^5 n_l \cdot \mu_5^T = 4.425 。 \end{aligned}$$

由此可以得到 5 个时段点电能质量的基于熵权未确知测度模型的评价结果如表 3 所示。

表 3 基于熵权未确知测度模型的评价结果

Tab.3 Evaluation result based on the model of entropy

weight and unascertained measure					
时段点序号	1	2	3	4	5
得分	3.876	4.318	4.100	2.108	4.425
评价等级	III	I	II	V	I

最后经过比较排序可以得到各时段点电能质量排序为: 第 5 时段点、第 2 时段点、第 3 时段点、第 1 时段点、第 4 时段点。

## 4 结论

在本文中, 采用熵权系数法来计算权重值, 使指标权重计算问题得到了合理解决, 并利用未确知测度模型对电能质量进行了综合评价, 通过置信度识别准则进行结果分析, 避免了评价结果的主观性问题。因此, 基于熵权未确知测度模型应用于电能质量的评价是有效可行的, 并在其它评价问题中有较强的推广性。

## 参考文献

[1] 刘皓明, 瞿峰, 陈星莺, 等. 基于模型树的电能质量综合评价[J]. 电力需求侧管理, 2008, 5 (3): 19-23. LIU Hao-ming, QU Feng, CHEN Xing-ying, et al. Comprehensive assessment of power quality based on the model tree[J]. Power Demand Side Management, 2008, 5 (3): 19-23.

[2] 陈伟, 郝晓弘, 林洁. 基于属性识别理论和AHP的电能质量综合评价体系和方法[J]. 电气技术, 2006 (5): 26-29. CHEN Wei, HAO Xiao-hong, LIN Jie. Comprehensive evaluation system and method about electrical energy quality based on attribute recognition theory and AHP[J]. Electric Technology, 2006 (5): 26-29.

- [3] 贾清泉, 宋家骅, 兰华, 等. 电能质量及其模糊方法评价电网技术[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.
- [4] 《电力节能技术丛书》编委会. 电能质量与节能技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.  
The Editorial of 《The Series of Power Saving Technology》. Power quality and energy-saving technology[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2008.
- [5] 李世林, 刘军成. 电能质量国家标准应用手册[M]. 北京: 中国标准出版社, 2007.  
LI Shi-lin, LIU Jun-cheng. National standard application manual of power quality[M]. Beijing: Standards Press of China, 2007.
- [6] 李金超, 李金颖, 牛东晓, 等. 考虑区间数概率分布的电力客户价值综合评价[J]. 华北电力大学学报, 2005, 32(4): 56-58, 65.  
LI Jin-chao, LI Jin-ying, NIU Dong-xiao, et al. Comprehensive evaluation on power customer's value based on probability distribution of interval numbers[J]. Journal of North China Electric Power University, 2005, 32(4): 56-58, 65.
- [7] 陈祖云, 杨胜强, 邬长福. 基于熵权与未确知测度模型及其在煤矿安全评价中的应用[J]. 矿业安全与环保, 2007, 34 (1): 75-77.  
CHEN Zu-yun, YANG Sheng-qiang, WU Chang-fu. The model based on entropy weight and unascertained measure and its application in the evaluation in coal mine safety[J]. Mining Safety and Environmental Protection, 2007, 34 (1): 75-77.
- [8] 石华旺, 高爱坤, 牛俊萍. 一种基于熵权的未确知测度评价方法及应用[J]. 统计与决策, 2008 (12): 162-164.  
SHI Hua-wang, GAO Ai-kun, NIU Jun-ping. A evaluation method based on entropy weight and unascertained measure and its application[J]. Statistics and Decision, 2008 (12): 162-164.
- [9] 陈娟, 刘凌. 基于熵权的未确知测度模型在湖库富营养化评价中的应用[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2008, 36 (4): 452-455.  
CHEN Juan, LIU Ling. Application of unascertained measure model based on entropy weight to evaluation of eutrophication of lakes and reservoirs[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2008, 36 (4): 452-455.

收稿日期: 2009-09-08; 修回日期: 2009-11-02

作者简介:

贾正源 (1953-), 男, 教授, 硕士生导师, 研究方向为电力市场理论与应用;

赵亮 (1984-), 男, 硕士研究生, 研究方向为技术经济评价理论与应用。E-mail: zhldavid7@163.com

(上接第 27 页 continued from page 27)

- [10] 肖位枢. 图论及其算法[M]. 北京: 航空工业出版社, 1993.
- [11] 程小平. 配合系数与网络结构的研究[J]. 电力系统自动化, 2000, 24 (9): 52-55.  
CHENG Xiao-ping. Study on relation between network topology and cooperation coefficient[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(9): 52-55.
- [12] Gswamt S K, Basu S K. A computer package for teaching relay coordination and loop based network solution[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1994, 9 (2): 572-578.
- [13] 杨雄平, 石东源, 段献忠. 计及厂站方式切换的快速故障计算方法[J]. 电网技术, 2006, 30 (20): 46-51.  
YANG Xiong-ping, SHI Dong-yuan, DUAN Xian-zhong. A fast fault calculation method considering switching of operation conditions of substations or plants[J]. Power System Technology, 2006, 30 (20): 46-51.
- [14] 曹国臣, 蔡伟国, 王海军. 继电保护整定计算方法存在的问题与解决对策[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23 (10): 51-56.  
CAO Guo-chen, CAI Guo-wei, WANG Hai-jun. Problems and solutions in relay setting and coordination [J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23 (10): 51-56.
- [15] 曹国臣, 李娟, 张连斌. 继电保护运行整定中分支系数计算方法的研究[J]. 继电器, 1999, 27 (2): 5-9.  
CAO Guo-chen, LI Juan, ZHANG Lian-bin. Study on method to calculate branch coefficient in relay setting and coordination[J]. Relay, 1999, 27 (2): 5-9.
- [16] 杨洋, 王慧芳, 时洪禹. 继电保护整定计算中运行方式的选择方法[J]. 继电器, 2006, 34 (20): 1-4.  
YANG Yang, WANG Hui-fang, SHI Hong-yu. Setup and choice method for operating mode in protection setting calculation software[J]. Relay, 2006, 34 (20): 1-4.

收稿日期: 2009-09-08

作者简介:

李运坤 (1987-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统继电保护; E-mail: dnacc2004@yahoo.com.cn

吕飞鹏 (1968-), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为电力系统继电保护和故障信息处理智能系统;

蒋科 (1983-), 男, 硕士, 从事电力调度工作。