

基于 G_2 -熵权法的低压配网台区状态特性评估

马 纪,刘希喆

(华南理工大学 电力学院,广东 广州 510640)

摘要:从低压配网台区的线路特征、运行特征 2 个主要方面的指标对低压配网台区状态特性进行评估。首先从上述 2 个方面建立评估指标体系;其次对指标进行一致化和无量纲处理;然后采用基于功能驱动的 G_2 法(唯一参照物法)加入专家经验求得各指标的主观权重,同时采用基于数据差异驱动的熵权法求得各指标的客观权重;最后利用拉格朗日最优乘子法综合主客观权重求得各指标的综合权重,得到低压配网台区状态特性的评估函数,根据评估函数值对低压配网台区状态特性做出评估。通过对某地的若干个低压配网台区进行实例分析,验证了该评估方法的有效性和可行性。

关键词: 低压配网台区; 状态特性; 指标体系; G_2 法; 熵权法; 拉格朗日最优乘子法; 评估函数

中图分类号: TM 727

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2017.01.007

0 引言

我国配电网分布范围广、线路多且排布混乱,设备种类和数量繁多,影响配电网特性的因素很多。目前对配电网评估的研究大部分停留在高、中压配电网层面,文献[1]提出基于德尔菲法修正的层次分析法,用于设置评价体系各级指标权重;文献[2]从网络结构水平、负荷供应能力、装备技术水平和运行管理水平等方面对高、中压配电网进行定量评价;文献[3]将层次分析法和德尔菲法用于城市高、中压配电网现状的评估中;文献[4]提出转供计算方法对规划高、中压配电网可靠性进行评估;文献[5]运用马尔可夫方法建立由可再生能源和储能装置组成的微电源的输出功率模型,然后对含微电网的配电网可靠性进行评估;文献[6-11]分别从高、中压配电网的运行风险^[6]、接线模式^[7]、供电能力^[8]、设备利用率^[9]、配电网设备故障停电风险^[10]、变压器状态^[11]等方面进行评价,可见针对高、中压配电网的评估研究已经相当成熟和全面。

针对低压配网特性的评估研究,文献[12]从低压配网的电压特性方面建立低压配网台区的评估指标体系,采用基于主客观结合的序关系-拉开档次综合赋权方法设置各评估指标的权重;文献[13]分析了农村低压配网运行管理存在的问题,给出了农村低压配网台区管理评价方法;文献[14]从网架结构、负荷特性两方面建立指标体系,应用改进序关系分析法建立台区状态评估模型,虽然这些研究可以从不同侧面、在不同程度上评价低压配网特性,但缺乏对低压配网台区状态特性的评价。目前低压配网台

区状态特性评估主要依据用户投诉、台变运行异常警告、台区线路运行年份等特征进行,优先级难以合理确定,凭经验判断对低压配网台区状态特性进行评估的效果甚微,针对台区状态特性评估的分析方法和决策工具较少,无法定量给出台区状态特性的评估结果。

本文针对缺少合理的低压配网台区状态特性评估体系的问题,从线路特征和运行特征两方面建立评估指标体系。基于该指标体系,运用 G_2 法加入专家对各指标重要程度的把握,凸显对指标赋权重的主观性,同时用反映低压配网各指标数据差异的熵权法,体现对指标赋权重的客观性,最后用拉格朗日最优乘子法求各指标综合权重,得到低压配网状态特性评估函数,根据评估函数值对各低压配网状态特性进行评估,为低压配网台区的优化改造提供决策依据。

1 指标体系

1.1 线路特征

从低压配网台区的线路参数方面考虑,用供电半径、最大线径的经济偏差率 2 个指标来分析线路特征。

a. 供电半径 X_1 ,指变压器到用户端的距离,是评估低压配网台区状态特性是否合理的重要参数之一。由于低压配网供电半径过长易引发网络末端的电压问题,所以供电半径越长,低压配网台区状态评估结果越不理想。对于低压配网,城市、郊区和农村地区理想的供电半径距离依次增大。

b. 最大线径的经济偏差率 X_2 ,指变压器低压侧导线的经济截面积 A_s 与其实际截面积 A 的偏差占 A_s 的比重,其中 A 一般为配电变压器低压侧的出线线径,是整个低压配网台区线路最大的截面积。最

收稿日期:2016-03-15;修回日期:2016-04-19

基金项目:广东省科技计划重点资助项目(2015B010128005)

Project supported by the Key Project of Guangdong Science and Technology Program(2015B010128005)

大线径的经济偏差率越小,低压配网台区状态越好。其计算公式为:

$$X_2 = \frac{A_s - A}{A_s} = \frac{P_{\max} - \sqrt{3} \rho A U_N \cos \varphi}{P_{\max}} \quad (1)$$

其中, $P_{\max}$ 为线路传输最大有功功率; U_N 为线路额定电压; ρ 为导线经济电流密度 (A/mm^2); $\cos \varphi$ 为台区负荷功率因数。

1.2 运行特征

从低压配网台区运行特征方面考虑,用综合线损率、变压器容量比、用户电压合格率、三相负荷不平衡程度 4 个指标来对低压配网台区的运行特征进行分析。

a. 综合线损率 X_3 , 指低压配网台区线路损失负荷与台区总供电负荷之比,用来反映低压配网台区运行是否经济。综合线损率越小,低压配网台区状态越好。其计算公式为:

$$X_3 = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \quad (2)$$

其中, P_1 为低压配网台区总供电负荷; P_2 为低压配网台区用户总的负荷数据。

b. 变压器容量比 X_4 , 指低压配网台区供电功率与变压器的容量之比,反映了变压器的负载情况。当变压器运行在经济区间内,变压器容量比越靠近区间中点,低压配网台区状态越好;当变压器运行在经济范围下限时,变压器容量过大会造成变压器资源的浪费;当变压器运行在经济范围上限时,未考虑近期负荷增长的预测,造成变压器重载。其计算公式为:

$$X_4 = \frac{W_t}{St} \quad (3)$$

其中, W_t 为 t 时段内低压配网台区供电负荷 ($kW \cdot h$); S 为变压器容量。

c. 用户电压合格率 X_5 , 指低压配网台区中电压合格的用户数量占整个台区用户数量的比重,反映用户对低压配网台区电压的满意程度,是评估低压配网台区状态特性的重要参数之一。用户电压合格率越大,低压配网台区状态越好。

d. 三相负荷不平衡程度 X_6 , 指配电变压器低压侧 A、B、C 三相中最大的负荷与三相平均负荷的偏差占三相平均负荷的比重,反映负荷在三相中分布的不合理程度。其值越小,低压配网台区状态越好。其计算公式为:

$$X_6 = \frac{3 \max \{P_A, P_B, P_C\} - (P_A + P_B + P_C)}{P_A + P_B + P_C} \quad (4)$$

其中, P_A 、 P_B 、 P_C 分别为配电变压器低压侧出线端 A、B、C 相的负荷。

2 指标预处理

低压配网台区状态特性指标分为正向指标、逆

向指标和区间指标,具有效益属性的正向指标值越大越好,具有成本属性的逆向指标值越小越好,具有分段属性的区间指标越靠近区间中部越好。在低压配网台区状态评估指标体系中,正向指标为用户电压合格率 X_5 ; 逆向指标为供电半径 X_1 、最大线径的经济偏差率 X_2 、综合线损率 X_3 、三相负荷不平衡程度 X_6 ; 区间指标为变压器容量比 X_4 。其中, X_1 为有量纲指标, X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 为无量纲指标。因为逆向指标较多,根据少数服从多数的原则,把各指标都一致化处理成逆向指标,即指标值越小,低压配网台区状态特性越好。进行一致化处理后,由于各评估指标具有不同的量纲和类型,不能直接进行比较,需要把各项指标进行无量纲处理,本文基于极值法将各指标归一化到 $[0, 1]$ 区间。各类型评估指标预处理过程如下。

正向指标的一致化和无量纲处理公式为:

$$X_i^* = \frac{X_{i\max} - X_i}{X_{i\max} - X_{i\min}} \quad (5)$$

其中, $X_{i\max}$ 、 $X_{i\min}$ 分别为若干个低压配网台区中第 i 项指标 X_i 的最大值和最小值。

区间指标的一致化和无量纲处理公式为:

$$X_i^* = \frac{|X_{i\mid} - X_i|}{\max(|X_{i\mid} - X_i|)} \quad (6)$$

其中, $X_{i\mid}$ 为第 i 项指标 X_i 的正常区间中点值。

逆向指标的一致化和无量纲处理公式为:

$$X_i^* = \frac{X_i - X_{i\min}}{X_{i\max} - X_{i\min}} \quad (7)$$

3 算法过程

低压配网台区状态特性评估方法为低压配网台区现状的分析提供直观的评估方法。本文采用基于功能驱动的 G_2 法,用专家经验对指标的重要程度进行判断,得出各指标主观权重,然后采用基于数据差异驱动的熵权法,用数据的差异对各指标进行客观赋权,最后用拉格朗日最优乘子法求得各指标最接近 G_2 法和熵权法的权重,得到低压配网台区状态特性评价函数,计算出各低压配网台区的评价函数值,并得出评估结果。

3.1 G_2 法

设专家在评价指标集中挑选最不重要的一个指标作为参照物,并记为 Y_n ,将各项指标重新标记为 $\{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$,其中 n 为指标总数。显然 $\{X_i^*, i=1, 2, \dots, n\}$ 和 $\{Y_k, k=1, 2, \dots, n\}$ 具有一一对应关系。

(1) 重要性程度之比 R_k 为点赋值情形。

设指定的专家根据相关信息对低压配网台区状态特性评估指标的重要性程度之比 R_k 做出理性的判断:

$$R_k = \frac{Y_k}{Y_n} \quad (8)$$

若 R_k 的赋值准确,则计算评价指标 Y_k 的权重系数为:

$$W_k^Y = \frac{R_k}{\sum_{k=1}^n R_k} \quad (9)$$

(2) 重要性程度之比 R_k 为区间赋值情形。

专家在对 R_k 进行主观赋值时,由于信息的不足而没有把握赋予 R_k 一个确切的数值,但有把握给出 R_k 一个取值范围时,可采用一种带有区间特征的 G₂ 法^[15]。

设指定的专家根据相关信息对低压配网台区状态特性评估指标的重要性程度之比 R_k 给出一个区间 D_k ,为:

$$R_k = \frac{Y_k}{Y_n} \in D_k, \quad D_k = [d_{1k}, d_{2k}] \quad (10)$$

有 $w_{d_k} = d_{2k} - d_{1k}$ 和 $m_{d_k} = \frac{d_{2k} + d_{1k}}{2}$ 分别为 D_k 的区间宽度和区间中点。

通常决策是带有风险的,称映射 $r_{\delta(D_k)} = m_{d_k} + \delta w_{d_k}$ 为具有专家风险态度的区间映射函数,其中 δ 为风险态度因子($-1/2 \leq \delta \leq 1/2$)。对于指定的专家, δ 为已知数,保守型专家取 $-1/2 \leq \delta \leq 0$,中立型专家取 $\delta = 0$,风险型专家取 $0 \leq \delta \leq 1/2$ 。

若 D_k 的赋值准确,则计算评价指标 Y_k 的权重系数为:

$$W_k^Y = \frac{r_{\delta(D_k)}}{\sum_{k=1}^n r_{\delta(D_k)}} \quad (11)$$

针对不同的赋值情形,由 $\{X_i^*\}$ 和 $\{Y_k\}$ 的一一对应关系,根据式(9)、(11)求得评价指标 X_i^* 的权重系数 $W_i' = W_k^Y$ 。

3.2 熵权法

按照信息论的定义,信息是系统有序程度的一个度量,熵是系统无序程度的一个度量。如果指标的信息熵越小,该指标提供的信息量越大,在评价中所起作用越大,权重越大。熵权法^[16]是一种客观赋权方法,某项指标的差异越大,熵权越小,该指标提供的信息量越大,该指标的权值越大。熵权法原理步骤如下。

(1) 指标预处理。

首先对各个指标 X_{ij}^* (第 j 个台区的第 i 个指标)进行预处理,即对某台区的指标在同类指标中的比重进行处理,计算在第 i 个指标下第 j 个台区的比重为:

$$p_{ij} = \frac{X_{ij}^*}{\sum_{j=1}^m X_{ij}^*} \quad (12)$$

其中, m 为低压配网台区总数。

(2) 计算第 i 个指标的熵权 e_i 。

$$e_i = -\frac{1}{\ln m} \sum_{j=1}^m (p_{ij} \ln p_{ij}) \quad (13)$$

(3) 计算第 i 个指标的权重系数。

$$W_i'' = \frac{1 - e_i}{n - \sum_{i=1}^n e_i} \quad (14)$$

3.3 综合赋权法

G₂ 法利用专家经验得到各指标权重,仅反映了专家对指标重要程度的判断,没有考虑指标本身的差异对指标权重的影响;熵权法充分运用指标数据信息中的差异来确定指标的权重,但是仅体现出完全客观的权重数值,没有反映各指标的重要程度。所以将 G₂ 法与熵权法相结合求得指标综合权重,从而使各个指标权重更加合理客观,不仅体现专家经验,还能体现数据本身信息。

综合 G₂ 法得到的主观权重和熵权法得到的客观权重,确定综合权重 $W_i = W_i' W_i'' / \left(\sum_{i=1}^n W_i' W_i'' \right)$,为使综合权重 W_i 与 W_i' 、 W_i'' 尽可能接近,用最小信息熵原理^[16]建立目标函数 $\min E = \sum_{i=1}^n W_i \left(\ln \frac{W_i}{W_i'} \right) + \sum_{i=1}^n W_i \left(\ln \frac{W_i}{W_i''} \right)$,用拉格朗日乘法优化可得综合权重计算式为:

$$W_i = \frac{(W_i' W_i'')^{1/2}}{\sum_{i=1}^n (W_i' W_i'')^{1/2}} \quad (15)$$

3.4 低压配网台区状态特性评估函数

各个低压配网台区状态特性评估函数向量为:

$$Z = XW \quad (16)$$

其中, $Z = (Z_1, Z_2, \dots, Z_m)^T$, Z_j 为第 j 个低压配网台区状态特性评估函数 ($j = 1, 2, \dots, m$); $W = (W_1, W_2, \dots,$

$$W_n)^T; X = \begin{bmatrix} X_{11}^* & \cdots & X_{n1}^* \\ \vdots & & \vdots \\ X_{1m}^* & \cdots & X_{nm}^* \end{bmatrix}。$$

3.5 低压配网台区状态特性评估结果

通过低压配网台区状态特性评估函数得到各个低压配网台区状态特性评价函数值,参照表 1 对各个低压配网台区状态特性进行评估。

表 1 低压配网台区状态特性评估结果参考表
Table 1 Reference table of conditional characteristic evaluation for low-voltage distribution network

评估函数值	评估结果	评估函数值	评估结果
[0, 0.25)	状态好	[0.50, 0.75)	状态差
[0.25, 0.50)	状态良	[0.75, 1.00]	状态极差

4 实例分析

本文以某供电局管辖内的低压配网台区为例,

检验文中的评估指标体系和评估方法的合理性。选取该供电局管辖内的 8 个低压配网台区,分别为高埭台区、陈坑台区、隔岗台区、公路头台区、红坳台区、黄岗旧墟台区、新东台区以及上杨台区,并依次命名为台区 1、2、⋯、8。

首先对该 8 个低压配网台区进行资料收集,收集的信息包括台区变压器的型号、变压器负荷、变压器低压侧出线线径、用户数量、投诉用户数量、用户端电压值、用户负荷、导线经济电流密度等。整理出该 8 个低压配网台区的 6 个原始指标,并根据式(5)–(7)对 6 个指标进行预处理,处理后的指标值如表 2 所示。

表 2 预处理后的低压配网台区状态特性指标
Table 2 Conditional characteristic indexes
of low-voltage distribution networks
after pretreatment

低压配网台区	预处理后各项指标					
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
台区 1	0.205 8	0.840 3	0.004 6	0.044 9	0.361 4	0.451 8
台区 2	0	0.557 3	0	0.063 5	0.333 3	0.726 7
台区 3	0.391 1	0	0.752 6	0.111 4	0	0.513 8
台区 4	0.034 3	0.889 3	0.627 8	0.437 4	0.870 2	1.000 0
台区 5	0.138 9	0.377 1	0.512 8	0.006 5	0.545 4	0.236 4
台区 6	1.000 0	0.586 6	0.455 6	0.081 8	0.407 4	0.361 2
台区 7	0.506 0	0.963 6	0.968 4	1.000 0	0.911 8	0.598 4
台区 8	0.789 0	1.000 0	1.000 0	0.002 1	0.698 4	0

然后计算主观权重。设专家从 6 个指标中选取对低压配网状态评估影响最小的指标,即供电半径 X_1 ,并记为 Y_6 ,同时将其他指标排序,记录指标对应关系。该专家对低压配网状态特性评估重要性程度之比 R_k 做出理性的判断,重要性程度由大到小依次为 用户电压合格率>三相负荷不平衡程度>综合线损率>变压器载容比>最大线径的经济偏差率>供电半径,根据重要性程度的排序对各指标的重要性程度之比赋值,然后根据式(9)、(11)求得各指标的主观权重并恢复原指标顺序,结果如表 3 所示。

再次计算客观权重。首先对表 2 中的指标进行预处理,然后根据式(13)、(14),分别求出各指标的熵权和客观权重,各指标的客观权重如表 3 所示。在计算熵值时,若指标为 0,式(13)中因为有自然对数的运算而出现未定式,计算时按照 $\lim_{x \rightarrow 0} x \ln x = 0$ 。

然后利用式(15)求得各指标的综合权重,如表 3 所示。最后计算出各低压配网台区状态评估值,并参照表 1 得到各台区的评估结果,如表 4 所示。

根据表 4 的评估结果,台区 2 的状态好,台区 1、3、5、6 的状态良,台区 4、8 的状态差,台区 7 的状态极差。分析台区 7 状态极差的原因为供电半径超过正常范围,变压器低压线路线径远小于其经济截面积,用户末端的最低电压远小于 198 V,线损占台

表 3 各指标的权重结果
Table 3 Weights of different indexes

指标	权重		
	主观权重	客观权重	综合权重
X_1	0.081 9	0.196 0	0.136 7
X_2	0.122 9	0.081 6	0.108 1
X_3	0.188 5	0.146 4	0.179 2
X_4	0.147 5	0.385 5	0.257 3
X_5	0.245 9	0.090 8	0.161 3
X_6	0.213 1	0.099 7	0.157 3

表 4 各低压配网台区状态评估结果
Table 4 Results of conditional characteristic
evaluation for low-voltage
distribution networks

低配网台区	评估值	评估结果
台区 1	0.260 7	状态良
台区 2	0.244 7	状态好
台区 3	0.297 8	状态良
台区 4	0.623 5	状态差
台区 5	0.278 5	状态良
台区 6	0.425 3	状态良
台区 7	0.845 4	状态极差
台区 8	0.508 3	状态差

区总电量的一半以上,用电高峰期时的用电负荷远超过变压器的容量,电压合格的用户很少。台区 4 和台区 7 相比,台区 4 的三相负荷不平衡程度比台区 7 严重,但台区 4 的其他指标都比台区 7 好,因此台区 4 的评估结果优于台区 7。台区 8 和台区 7 相比,台区 8 的变压器负载率、用户电压合格率以及三相负荷不平衡程度都优于台区 7,其他指标略差,但台区 8 整体的状态特性比台区 7 好。台区 1、3、5、6 的状态特性都为良,各项指标基本合理,但台区 6 的供电半径过大,使其状态特性评估结果在这几个台区中最差。台区 2 的供电半径和线损率都是最优的,三相负荷的不平衡程度较差,其他指标基本都是同项指标较好的,因此其状态特性评估结果最好。

通过本文方法对 8 个低压配网台区的台区状态特性进行评估,筛选出台区状态特性差和极差的台区,其中台区 7 的状态最差,亟待对其进行优化改造,改善其状态特性;台区 4、8 的状态差,其中台区 4 的三相负荷不平衡程度太大,要对其进行负荷重新分配,使其三相负荷趋近平衡;台区 8 的线损率过大,供电半径大大超出正常范围,要通过增大线径和优化供电结构来降低其线损率和供电半径。算例结果表明,本文方法可以高效合理地筛选出问题台区,针对问题台区的各项指标提出针对性的改造方案。

5 结论

a. 本文提出了基于 G_2 -熵权法的低压配网台区状态特性评估方法,从线路特征、运行特征 2 个主要方面建立指标体系,这些指标获取方便、可操作性强,

能够高效合理地反映低压配网台区状态特性。

b. 综合考虑本文 6 个指标的特点及其对台区状态特性的影响对指标分类,然后进行一致化和归一化处理,因为逆向指标较多,所以把指标全部处理为逆向指标,提高了指标预处理效率。

c. 采用基于专家经验的 G_2 法求得主观权重,由专家根据实际情况确定各指标的权重,但是主观性较大;同时采用基于数据差异的熵权法得到客观权重,没有专家经验的加入,避免了主观因素的影响,使赋权具有客观性,但是熵权法所得到的权重可能与指标的实际重要程度不一致,因此利用拉格朗日最优乘子法使得综合权重最接近主客观权重,兼顾了专家经验和数据自身的特征,避免了 G_2 法和熵权法的缺陷。

d. 算例中,用户电压合格率、三相负荷不平衡程度、线损率指标对低压配网台区状态特性影响很大。基于此,在针对大量低压配网台区进行台区状态特性评估工作时,先筛选出用户电压合格率低、三相负荷不平衡程度大、线损率高的台区,然后根据本文的方法进行评估,可以更加高效地筛选出问题台区,为下一步的优化改造提供高效合理的依据。

综上,文中所提的方法思路清晰、流程简明、计算简便、实用性强,适合我国低压配网台区状态特性的评估工作,提高了对问题台区的筛选效率。通过实例分析,验证了本文评估方法的有效性和可行性。

参考文献:

- [1] 羌丁建,寿挺,朱铁铭,等. 高压配电网规划评价指标体系与综合评价模型[J]. 电力系统保护与控制,2013,41(21):52-57.
QIANG Dingjian,SHOU Ting,ZHU Tieming,et al. An evaluation index system and comprehensive evaluation model on high-voltage distribution network planning[J]. Power System Protection and Control,2013,41(21):52-57.
- [2] 冯新龙,孙岩,林声宏,等. 配电网综合评价指标体系及评估方法[J]. 广东电力,2013,26(11):20-25,53.
FENG Xinlong,SUN Yan,LIN Shenghong,et al. Comprehensive evaluation index system of distribution network and evaluation method[J]. Guangdong Electric Power,2013,26(11):20-25,53.
- [3] 李晓辉,张来,李小宇,等. 基于层次分析法的现状电网评估方法研究[J]. 电力系统保护与控制,2008,36(14):57-61.
LI Xiaohui,ZHANG Lai,LI Xiaoyu,et al. The research on the evaluation system for existing network based on analytic hierarchy process and Delphi method[J]. Power System Protection and Control,2008,36(14):57-61.
- [4] 邱生敏,管霖. 规划配电网简化方法及其可靠性评估算法[J]. 电力自动化设备,2013,33(1):85-90.
QIU Shengmin,GUAN Lin. Simplification of distribution network planning and its reliability evaluation algorithm[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(1):85-90.

- [5] 王韶,谭文,黄晗. 计及微电网中可再生能源间歇性影响的配电网可靠性评估[J]. 电力自动化设备,2015,35(4):31-37.
WANG Shao,TAN Wen,HUANG Han. Distribution system reliability evaluation considering influence of intermittent renewable energy sources for microgrid[J]. Electric Power Automation Equipment,2015,35(4):31-37.
- [6] 刘健,韩磊,张志华. 面向用户并考虑紧迫性的配电网运行风险评估[J]. 电力自动化设备,2015,35(2):97-102,109.
LIU Jian,HAN Lei,ZHANG Zhihua. Customer-oriented distribution network operational risk assessment considering urgency[J]. Electric Power Automation Equipment,2015,35(2):97-102,109.
- [7] 潘锋,张宇俊,周敏. 一种基于接线模式的中压配电网综合评价方法[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(19):19-21,35.
PAN Feng,ZHANG Yujun,ZHOU Min. A comprehensive evaluation hierarchy for MV distribution network based on connection modes[J]. Power System Protection and Control,2009,37(19):19-21,35.
- [8] 徐志飞. 中压配电网供电能力评价体系研究及应用[D]. 北京:华北电力大学,2013.
XU Zhifei. The research and application of the medium voltage distribution network power supply ability evaluation system[D]. Beijing:North China Electric Power University,2013.
- [9] 曹磊. 中压配电网设备利用率综合评价体系研究[D]. 天津:天津大学,2012.
CAO Lei. Research on comprehensive evaluation system of medium voltage equipment utilization[D]. Tianjin:Tianjin University,2012.
- [10] 赵会茹,李娜娜,郭森,等. 配电网络设备故障停电风险实时评估[J]. 电力自动化设备,2014,34(11):89-94.
ZHAO Huiru,LI Nana,GUO Sen,et al. Real-time risk assessment on equipment failure outage of distribution network[J]. Electric Power Automation Equipment,2014,34(11):89-94.
- [11] 徐岩,陈昕. 基于合作博弈和云模型的变压器状态评估方法[J]. 电力自动化设备,2015,35(3):88-93.
XU Yan,CHEN Xin. Transformer status assessment based on cooperative game and cloud model[J]. Electric Power Automation Equipment,2015,35(3):88-93.
- [12] 欧阳森,陈欣晖,耿红杰. 基于功效系数法的低压配网台区电压特性评估[J]. 华南理工大学学报(自然科学版),2015,43(8):35-40.
OUYANG Sen,CHEN Xinhui,GENG Hongjie. Evaluation of voltage characteristics of low-voltage distribution network based on efficacy coefficient method[J]. Journal of South China University of Technology(Natural Science Edition),2015,43(8):35-40.
- [13] 张梦,赵凤展,张靓,等. 农村低压配电网台区智能化管理的评价与措施[J]. 中国农机化学报,2015,36(1):340-343.
ZHANG Meng,ZHAO Fengzhan,ZHANG Liang,et al. Evaluation and improvement of the intelligent management of rural low-voltage distribution network[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization,2015,36(1):340-343.
- [14] 欧阳森,杨家豪,耿红杰,等. 面向台区管理的台区态综合评价方法及其应用[J]. 电力系统自动化,2015,39(11):187-192,207.
OUYANG Sen,YANG Jiahao,GENG Hongjie,et al. Comprehensive evaluation method of transformer area state oriented to trans-

former area management and its application[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(11): 187-192, 207.

[15] 郭亚军. 综合评价理论、方法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 44-52.

[16] 郑晓云, 王雨. 基于 AHP 和熵权法的房地产开发企业诚信评价[J]. 山西建筑, 2016, 42(2): 213-214.

ZHENG Xiaoyun, WANG Yu. The integrity evaluation of real estate development enterprises based on AHP and entropy weight method[J]. Shanxi Architecture, 2016, 42(2): 213-214.

作者简介:



马 纪

马 纪(1990—), 男, 河南南阳人, 硕士研究生, 主要研究方向为配电网评估与智能优化(E-mail: majinanyang@126.com);

刘希喆(1970—), 男, 河南南阳人, 副研究员, 博士, 主要研究方向为配电网智能控制与优化(E-mail: liuxizhe@126.com)。

Conditional characteristic evaluation based on G_2 -entropy weight method for low-voltage distribution network

MA Ji, LIU Xizhe

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

Abstract: The conditional characteristics of low-voltage distribution network are evaluated in two aspects: line characteristics and operating characteristics. An evaluation index system is established for these two aspects, all indexes are unified and nondimensionalized, the function-driven G_2 method joined with the expert experience is applied to obtain the subjective weight of each index, the data-difference-driven entropy weight method is applied to obtain the objective weight of each index, the Lagrange optimal multiplier method is applied to obtain the comprehensive weight of each index for the evaluation function, and the conditional characteristics of low-voltage distribution network are evaluated according to the values of evaluation function. Analysis of conditional characteristics for several actual low-voltage distribution networks verifies the validity and feasibility of the proposed evaluation method.

Key words: low-voltage distribution network; conditional characteristics; index system; G_2 method; entropy weight method; Lagrange optimal multiplier method; evaluation function

(上接第 40 页 continued from page 40)

作者简介:



董 雷

董 雷(1967—), 女, 内蒙古呼和浩特人, 副教授, 博士, 主要从事电力系统分析与控制方面的研究(E-mail: hbdldl@126.com);

明 捷(1991—), 男, 湖北黄冈人, 硕士研究生, 主要从事配电网优化控制方面的研究;

蒲天骄(1970—), 男, 吉林长春人, 教授

级高级工程师, 主要从事电网运行控制、智能电网仿真、主动配电网等方面的研究;

于 汀(1984—), 男, 黑龙江齐齐哈尔人, 博士研究生, 主要从事电网调度自动控制方面的研究;

崔 琳(1991—), 女, 黑龙江五大连池人, 硕士研究生, 主要从事配电网电压优化控制方面的研究;

周建华(1983—), 男, 江苏镇江人, 工程师, 主要从事新能源发电并网技术方面的研究。

Three-phase voltage optimization and correction of active distribution network

DONG Lei¹, MING Jie¹, PU Tianjiao², YU Ting², CUI Lin¹, ZHOU Jianhua³

(1. State Key Laboratory for Alternate Electrical Power System with Renewable Energy Sources, North China Electric Power University, Beijing 102206, China; 2. China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China;

3. State Grid Jiangsu Electric Power Research Institute, Nanjing 210036, China)

Abstract: The three-phase voltage optimization and correction technology of active distribution network is studied and a control strategy of centralized network-wide optimization and localized coordinative correction is proposed, which, based on the semi-definite programming theory, establishes a three-phase voltage optimization model considering the inter-phase induction of a branch to coordinate the active and reactive power resources for the optimized control of whole active distribution network in long time-scale, while, based on the three-phase sensitivity of voltage phasor to nodal injection power, establishes a quadratic programming model for the control of voltage phasor correction in short time-scale. Simulation for the three-phase IEEE 33-bus standard test system shows that, the network-wide optimization control can effectively reduce the network loss while the local correction control can apply the least power adjustment to quickly correct the voltage amplitude of limit-violated node and reduce the three-phase imbalance.

Key words: three-phase voltage; active distribution network; optimization; correction; multi-time scale; voltage control