

DOI: 10.7667/PSPC180074

考虑三相不平衡的低压用户业扩报装供电方案精准编制

郭志民¹, 张永浩², 周兴华², 孙志杰³, 康田园², 耿俊成¹

(1. 国网河南省电力公司电力科学研究院, 河南 郑州 450052; 2. 北京中恒博瑞数字电力科技有限公司, 北京 100085; 3. 国网冀北电力有限公司电力科学研究院, 北京 100045)

摘要: 业扩报装是供电企业营销和配网管理的一项重要工作, 对形成并维持良好的配网结构、保证配网供电可靠性、提高配网资源利用效率等具有十分重要的意义。随着电力信息化、营销业务系统信息化的发展, 业扩报装的流程也在逐步完善。为进一步提高当前低压用户业扩报装方案的精准化程度, 提出了一种模糊多目标优化函数, 采用目标函数对低压用户业扩报装接入方案进行综合评估, 然后根据评估结果确定最优接入方案。该方法可降低台区三相不平衡度及线损率, 提高配电网运行的经济性。

关键词: 业扩报装; 低压用户; 三相不平衡度; 线损率; 模糊多目标优化函数

Accurate compilation of power supply scheme for low voltage customer considering the three-phase unbalance

GUO Zhimin¹, ZHANG Yonghao², ZHOU Xinghua², SUN Zhijie³, KANG Tianyuan², GENG Juncheng¹

(1. SG HAEP Electric Power Research Institute, Zhengzhou 450052, China;

2. Beijing Join Bright Digital Power Technology Co., Ltd., Beijing 100085, China;

3. SG JIBEI Electric Power Co., Ltd. Research Institute, Beijing 100045, China)

Abstract: Business expansion is an important work in the marketing and distribution management of power supply enterprises, it is of great significance for forming and maintaining a good distribution network structure, ensuring the power supply reliability of the distribution network and improving the utilization efficiency of the distribution network resources. With the development of information technology and marketing information system, the process of business expansion is gradually improved. A fuzzy multi-objective optimization function is proposed to further improve the precision of the current low-voltage user industry, and the target function is used to evaluate the expansion of the low voltage user industry, then the optimal access scheme is determined according to the results of the evaluation. This method can reduce the three phase unbalance and line loss rate of the platform and improve the economy of the operation of the distribution network.

This work is supported by National Key Research and Development Program of China (No. 2016YFB0900101) and Science and Technology Project of State Grid Corporation of China (No. SC-2016-015).

Key words: business expansion; low voltage users; three phase unbalance; loss rate; fuzzy multi-objective optimization function

0 引言

业扩报装是营销业务系统中面对客户用电的关键业务之一, 是电力企业和电力用户间的纽带。通过业扩报装, 电力企业及时掌握客户需求, 结合电

力系统实际情况, 制定科学的电力工程方案并予以实施, 满足客户电力需求, 保障国民经济发展和民生活动的能源需要^[1-3]。

随着电力信息化、营销业务系统信息化发展, 业扩报装的流程也在逐步完善。然而, 目前业扩报装中对于低压用户接入系统方案的选择仍然相对粗放, 不够精细^[4-5]。我国电能浪费现象十分严重, 其中低压配网中电能的损耗几乎占整个电网损耗的

基金项目: 国家重点研发计划项目课题(2016YFB0900101); 国家电网公司总部科技项目资助(SC-2016-015)

65%^[6]。当前低压用户报装是直接找到附近电源点,通过简单计算选择三相中的一相进行接入,不考虑接入后系统的三相不平衡,这给低压电网带来一系列不良影响,主要包括4个方面:1)造成配电变压器和线路损耗增加;2)配电台区中重载相的供电电压质量大大下降;3)造成配电变压器的出力降低,电能转换效率下降;4)三相负荷不平衡运行造成配电变压器零序电流增大,引起的涡流损耗使配电变压器运行温度升高,危及其安全与寿命^[7-8]。因此,降低配电台区三相负荷不平衡度,提高配电台区经济运行水平和供电电压质量是急需解决的问题。目前低压用户业扩报装时接入相的选择仍需优化完善,以降低台区三相不平衡度及损耗率,提高台区供电质量^[9-10]。

本文首先介绍三相不平衡度及三相不平衡系统中损耗的计算方法,然后提出基于三相不平衡和台区网损最优的低压用户接入方案评估函数,根据评估结果选择最优接入方案。最后,以某低压报装用户为例进行计算,验证该方法的可行性。该方法可为低压用户业扩报装供电方案的确定提供量化依据。

1 非对称系统三相不平衡计算

1.1 三相电压不平衡度计算

IEEE Std112-2004 定义了利用相电压计算三相电压不平衡度,三相不平衡宜按式(1)计算^[8]。

$$PVUR = \frac{\max[|V_a - V_{Pavg}|, |V_b - V_{Pavg}|, |V_c - V_{Pavg}|]}{V_{Pavg}} \times 100\% \quad (1)$$

式中: V_a 为 A 相电压有效值; V_b 为 B 相电压有效值; V_c 为 C 相电压有效值; V_{Pavg} 为三相电压平均值。

台区三相电压不平衡度的计算可采用式(1),通过台区变压器低压侧三相电压值求得台区三相不平衡度,可作为评估最优接入相的评估指标。

1.2 三相不平衡潮流计算

对于低压配电网,由于不平衡负荷的存在,通常采用三相潮流计算方法进行潮流计算。三相潮流建模方法可以分为序分量法和相分量法。相分量法对 A、B、C 三相直接建模,物理概念清晰,易处理不对称元件和负荷^[11-15]。本文采用考虑辐射型网络特性的前推回代计算方法进行求解,能够快速准确得出结果。

本文以台区变压器高压侧为电源点计算台区三相不平衡潮流分布,以台区变压器低压侧三相电压开展三相不平衡度计算,计算所需参数如下。

1) 报装用户: 报装容量、接入点。

2) 台区变压器: 额定容量、额定电压、短路电压百分比、短路损耗、空载损耗、空载电流百分比。

3) 电力线路: 长度、阻抗。

4) 电网设备拓扑关系。

5) 电网运行数据: 最大负荷时刻台区变压器运行电压、最大负荷时刻台区用户有功、无功功率。

1.3 非对称系统损耗计算

对于低压配电网,三相负荷不平衡时,各相的负荷电流不相等,就在相间产生了不平衡电流,这些不平衡电流除在相线上引起损耗外,还将在中性线上引起损耗,增加了总的线损。所以低压配电网线损计算要考虑相线的损耗和中性线的损耗^[16-18]。

1) 非对称系统线损计算

低压台区配电网的三相四线不平衡系统中,由于在中性线上有叠加电流,在计算低压网线损时,需要充分考虑到三相不平衡对线损的影响,由于低压系统中性点直接接地,中性线的零序电流损耗是非常重要的,而且中性线有时采用和相线不同线径,在分析时中线电阻单独给出。由于低压系统中一般采用采集相电压、相电流、本相电流的单相计量表计,三相负载的三相四计量表也只采集三相的电参数,故中性线电流可通过式(2)计算得到。

$$\dot{I}_N = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c \quad (2)$$

将中性线电流模值带入损耗公式,可得三相四线系统中线路总的损耗为^[19]

$$\Delta P_{\text{unbalance}} = (I_a^2 + I_b^2 + I_c^2) \cdot R_p + I_N^2 \cdot R_N \quad (3)$$

式中: R_p 为相线电阻; R_N 为中性线电阻。

2) 变压器损耗计算

变压器正序电阻为

$$R_1 = \frac{P_k \cdot U_n^2}{1000 S_n^2} \quad (4)$$

变压器零序电阻 R_0 近似等于 R_1 。

中性点零序电流为

$$I_0^2 = (I_b - I_a \sin 30^\circ - I_c \sin 30^\circ)^2 + (I_c \cos 30^\circ - I_a \cos 30^\circ)^2 \quad (5)$$

中性点零序损耗为

$$P_0 = I_0^2 \cdot R_0 \quad (6)$$

三相不平衡绕组损耗为

$$P_1 = (I_a^2 + I_b^2 + I_c^2) R_1 \quad (7)$$

变压器总损耗为

$$P_{\text{总}} = P_0 + P_1 = (I_a^2 + I_b^2 + I_c^2) \cdot R_1 + I_0^2 \cdot R_0 \quad (8)$$

3) 台区网损率计算

台区网损率计算公式如式(9)。

$$\text{Loss}^{ij}(\%) = \frac{P_{\text{loss}}}{P_h} \cdot 100\% \quad (9)$$

式中: P_{loss} 为台区总损耗, kW; P_h 为台区变压器高压侧有功功率, kW。

2 低压用户业扩报装精细化流程

设定基于三相不平衡和台区网损最优的模糊多目标优化目标函数为

$$f(x) = \alpha x_1 + \beta x_2 \quad (10)$$

式中: x_1 为三相负荷不平衡度; x_2 为台区总网损率; α 、 β 分别为 x_1 、 x_2 的权重, $\alpha + \beta = 1$ 。

α 、 β 的取值可根据工程实际自行设定, 若无特殊要求, 可设 $\alpha = 0.5$, $\beta = 0.5$ 。根据计算结果, $f(x)$ 取得最低值时的方案即为综合三相不平衡度和台区网损最低的最优接入方案。

传统业扩报装根据业扩申请信息确定用户地址, 报装容量, 然后根据现场勘查结果确定接入点^[20], 最后通过简单对比确定接入相。该评估函数的提出增加了三相不平衡计算及最优方案评估流程, 提高了当前低压用户业扩报装方案的精准化程度。在有多个接入点的情况下, 分别计算低压用户在每个接入点接入不同相的潮流分布, 得到不同接入方案的不平衡度和网损率, 根据目标函数计算结果确定最优接入方案。业扩报装精细化流程如图 1 所示。

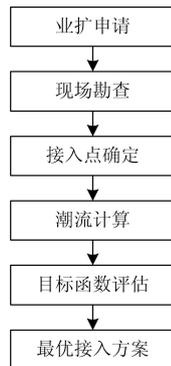


图 1 业扩报装精细化流程图

Fig. 1 Refinement flow chart of industry expansion

3 算例分析

以某低压报装用户为例, 该用户基本信息如表 1 所示。

该用户附近接入点可选方案为人民线主干 008 号杆及人民线主干 006 号杆, 该线路为低压线路, 所属台区公变为大庄村西公变。该台区接线示意图如图 2 所示。

表 1 用户报装信息

Table 1 Installation information of the user

用户名称	李 x
用电地址	大庄村 x 号
用电类别	居民用电
供电电压	220 V
负荷性质	三级负荷
申请容量	10 kW

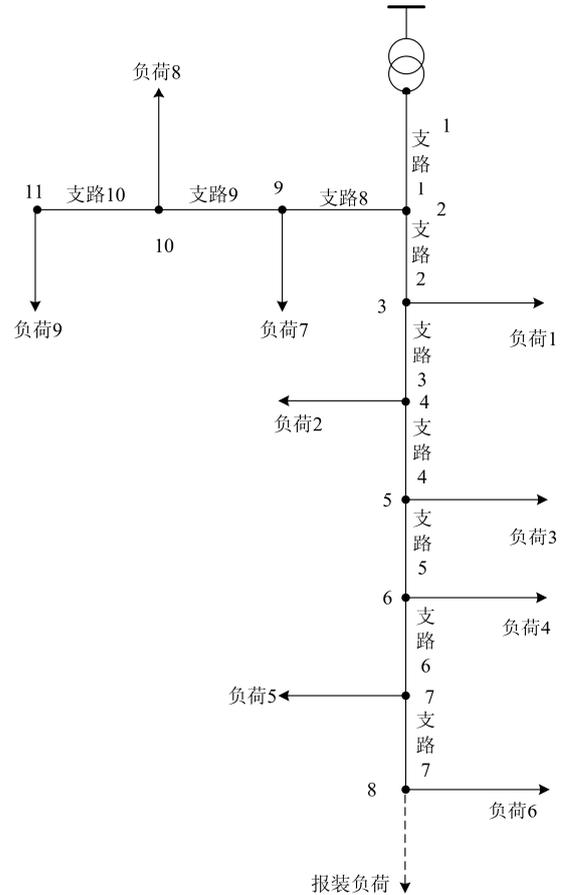


图 2 台区接线图

Fig. 2 Connection of low voltage distribution network

该台区配变参数情况如表 2 所示。

表 2 配变参数信息

Table 2 Parameter information of distribution transformer

配变名称	大庄村西公变
额定容量	630 kVA
额定电压	10.5/0.4 kV
短路电压百分比	4%
短路损耗	1.87 kW
空载损耗	0.17 kW
空载电流百分比	4%

以台区变压器高压侧为电源点，低压侧为节点 1。人民线主干 008 号杆即节点 8，人民线主干 006 号杆即节点 6。

其中，负荷 1、2、3 为三相接入，负荷 4、5、6、7、8、9 为单相接入。负荷最大时刻该台区各节点等效负荷数据如表 3 所示。

表 3 等效负荷数据

Table 3 Operation data of equivalent load

等效负荷	接入相	有功功率/kW	无功功率/kvar
负荷 1	三相	29.45	18.25
负荷 2	三相	12.75	7.9
负荷 3	三相	22.95	14.22
负荷 4	B	16.2	7.84
负荷 5	A	8.5	5.26
负荷 6	C	4.8	3.6
负荷 7	A	12.8	9.6
负荷 8	B	24.24	18.18
负荷 9	C	6.63	4.11
合计		138.32	88.96

各支路线路的阻抗情况如表 4 所示。

表 4 支路阻抗参数

Table 4 Impedance parameters of branch

支路	线路长度/m	安全电流/A	电阻/ (Ω/km)	电抗/ (Ω/km)
支路 1	50	350	0.122	0.087
支路 2	50	285	0.151	0.087
支路 3	50	285	0.151	0.087
支路 4	50	212	0.238	0.088
支路 5	50	212	0.238	0.088
支路 6	50	212	0.238	0.088
支路 7	50	212	0.238	0.088
支路 8	50	212	0.238	0.088
支路 9	50	212	0.238	0.088
支路 10	50	212	0.238	0.088

该变压器高压侧母线运行线电压为 10.6 kV，低压侧 A、B、C 三相电压分别为 219.34 V，218.49 V，219.88 V，接入前台区三相电压不平衡度为 0.341%。分别计算用户接入不同接入点以及不同相后的三相不平衡系统潮流分布，得出节点电压和支路电流分布表。

本算例中，设置最优接入方案评估目标函数 $f(x) = \alpha x_1 + \beta x_2$ 中 $\alpha=0.5$ ， $\beta=0.5$ 。

若该用户从人民线主干 008 号杆 A 相接入，则接入后的节点电压和支路电流分布如表 5 和表

6 所示。

表 5 报装用户接入 A 相后节点相电压分布表

Table 5 Node voltage distribution table after user access to phase A

节点	标称电压/V	运行电压/V		
		A 相	B 相	C 相
节点 1	220	218.99	218.48	219.86
节点 2	220	216.81	215.31	219.09
节点 3	220	214.72	213.38	218.18
节点 4	220	213.09	211.9	217.74
节点 5	220	211.09	209.98	217.46
节点 6	220	209.6	208.58	217.72
节点 7	220	207.6	209.01	217.75
节点 8	220	206.6	209.35	217.47
节点 9	220	216.4	212.7	219.02
节点 10	220	217.48	210	218.44
节点 11	220	217.54	210.23	217.69

表 6 报装用户接入 A 相后电流分布表

Table 6 Current distribution table after reporting user access to phase A

支路	运行电流/A			
	A 相	B 相	C 相	N
支路 1	287.6	347.2	185.3	141.9
支路 2	214.5	203.7	149.5	67.4
支路 3	161.2	151.0	94.8	67.4
支路 4	138.1	128.0	70.9	67.4
支路 5	96.4	86.3	27.6	67.4
支路 6	96.4	0	27.6	89.9
支路 7	48.4	0	27.6	47.3
支路 8	73.5	144.3	35.8	97.1
支路 9	0	144.3	35.8	133.0
支路 10	0	0	35.8	35.8

根据节点电压各相结果，参照式(1)可以得出台区变压器低压侧(节点 1)的三相电压不平衡度为 0.342%。根据节点电压及支路潮流结果，使用上节所述线损率计算公式得出，报装用户接入 A 相后的台区变压器损耗为 0.3 kW，各支路线路的总损耗为 4.7 kW，台区总损耗为 5 kW，台区总输入功率为 152.6 kW，台区总线损率为 3.29%。

同样的方法得出用户接入人民线主干 008 号杆 B 相、C 相时变压器低压侧三相电压不平衡度，变压器损耗、线路损耗及台区总线损率。综合对比用户接入前及分别接 A、B、C 相后的三相电压不平衡度、损耗率及目标函数值，如表 7 所示。

根据分析结果可知当接入人民线主干 008 号杆时，最优接入相为 C 相。

若用户从人民线主干 006 号杆接入，同样的方法对用户分别接入 A、B、C 相后的接入方案进行

分析, 结果如表 8 所示。

表 7 接入 008 号杆接入方案分析结果

Table 7 Analysis results of access scheme when access to tower No. 008

接入相	三相 不平 衡度/%	输入 功率/ kW	损耗/kW			综合线 损率/%	目标函 数值/%
			变压器	线路	合计		
接入前	0.341	142.3	0.2	3.9	4.1	2.89	1.616
A	0.342	152.6	0.3	4.7	5	3.29	1.816
B	0.453	153.1	0.4	5.0	5.4	3.55	2.001
C	0.289	153.8	0.3	4.4	4.7	3.07	1.680

表 8 接入 006 号杆接入方案分析结果

Table 8 Analysis results of access scheme when access to tower No. 006

接入相	三相 不平 衡度/%	输入 功率/ W	损耗/kW			综合线 损率/%	目标函 数值/%
			变压器	线路	合计		
接入前	0.341	142.3	0.2	3.9	4.1	2.89	1.616
A	0.342	151.7	0.3	4.4	4.8	3.15	1.746
B	0.408	152.5	0.4	3.9	5.3	3.48	1.944
C	0.262	153.9	0.2	4.3	4.5	2.94	1.601

根据分析结果可知当接入人民线主干 006 号杆时, 最优接入相为 C 相。

对比两个接入点的评估结果可知, 当接入人民线主干 006 号杆 C 相时, 目标函数 $f(x)$ 结果最小, 该方案为最优接入方案, 此时电网三相不平衡度及台区总损耗率最低。

4 结语

本文对传统低压用户业扩报装流程进行改进, 提出了基于三相不平衡度和台区网损最优的模糊多目标优化评估目标函数, 根据评估结果确定最优接入方案。该研究不仅为低压用户业扩报装接入点的确定提供量化依据, 而且为用户接线相别优化提供量化分析, 提高了当前低压用户业扩报装供电方案的精准化程度。

参考文献

- [1] 卢明珠, 王熙熙, 霍建兵. 业扩报装空间辅助决策支持系统的设计与实现[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(17): 84-88.
LU Mingzhu, WANG Xizhao, HUO Jianbing. Design and implementation of spatial assistant decision support system for power business expansion[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(17): 84-88.
- [2] 吴波, 李爱民, 杨李达. 供电企业业扩报装规范管理及自动化应用研究[J]. 科技资讯, 2017, 15(24): 57-59.

- WU Bo, LI Aimin, YANG Lida. Research of power supply company industry expansion report specification management and automation application[J]. Science & Technology Information, 2017, 15(24): 57-59.
- [3] 齐志刚, 金波, 邱朝明. 基于 GIS 的业扩报装优化与决策系统设计[J]. 中国电力, 2011, 44(4): 90-94.
QI Zhigang, JIN Bo, QIU Chaoming. GIS based optimal design of electric expansion, installation and decision-making system[J]. Electric Power, 2011, 44(4): 90-94.
- [4] 张熙. 电力营销业扩报装流程规范化管理分析[J]. 低碳世界, 2016(19): 110-111.
ZHANG Xi. Analysis of the industry expansion report process standardization management in power marketing[J]. Low Carbon World, 2016(19): 110-111.
- [5] 高照远, 宋萍. 电力企业业扩报装的精细化管理刍议[J]. 中国管理信息化, 2016, 19(1): 96-97.
GAO Zhao Yuan, SONG Ping. Suggestions about industry expansion report streamline management for power enterprise[J]. China Management Information, 2016, 19(1): 96-97.
- [6] 李峻, 刘一涛, 陈菊红, 等. 低压三相不平衡调整优选方案的计算机实现[J]. 电气应用, 2013, 32(21): 55-57, 67.
LI Jun, LIU Yitao, CHEN Juhong, et al. Implementation of optimized adjustment scheme for low-voltage three-phase unbalance[J]. Electrical Application, 2013, 32(21): 55-57, 67.
- [7] 吴鸿亮, 门锷, 董楠, 等. 基于 J2EE 架构的线损理论计算与诊断分析系统开发与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(5): 108-116.
WU Hongliang, MEN Kun, DONG Nan, et al. Development and application of theoretical calculation and diagnosis analysis system of line loss based on J2EE framework[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(5): 108-116.
- [8] 牟树贞, 齐晓波, 刘芹. 三相电压不平衡度的不同计算方法对比[J]. 陕西电力, 2010, 38(12): 55-58.
MOU Shuzhen, QI Xiaobo, LIU Qin. Comparison of various calculation methods for three-phase voltage unbalance[J]. Shaanxi Electric Power, 2010, 38(12): 55-58.
- [9] 靳丹, 蔡玺, 马志程, 等. 营配业务一体化平台应用研究[J]. 电力信息与通信技术, 2015, 13(2): 127-131.
JIN Dan, CAI Xi, MA Zhicheng, et al. Research and application of marketing and distribution integration platform[J]. Electric Power Information Technology, 2015, 13(2): 127-131.
- [10] 张欢. 基于用户分类的低压配网三相平衡化降损研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2013.

- ZHANG Huan. Research on three-phase balance reduction of low voltage distribution network based on user classification[D]. Changsha: Changsha University of Science and Technology, 2013.
- [11] 殷自力, 陈宇星. 基于功率传输转移分布因子的简化电网潮流计算方法[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(17): 25-30.
- YIN Zili, CHEN Yuxing. A power flow computation method for reduction grid based on power transfer distribution factor[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(17): 25-30.
- [12] 扈诗扬, 杨萌, 汪芳宗. 基于坐标旋转变换的配电系统快速解耦潮流计算方法[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(4): 40-44.
- HU Shiyang, YANG Meng, WANG Fangzong. A fast decoupled load flow method for distribution system via coordinate rotation transformation[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(4): 40-44.
- [13] 杨雄, 卫志农, 孙国强, 等. 变压器支路处理新方法 with 配电网三相潮流计算[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(18): 58-64.
- YANG Xiong, WEI Zhinong, SUN Guoqiang, et al. A novel method for transformer branch processing and three-phase power flow calculation in distribution networks[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(18): 58-64.
- [14] 李红伟, 孙宏斌, 张安安, 等. 基于正序分量的含 PV 节点的三相配网潮流算法[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(1): 115-121, 10.
- LI Hongwei, SUN Hongbin, ZHANG An'an, et al. Positive-sequence component based three-phase unbalanced power flow solution for distribution system with PV nodes[J]. Proceedings of the CSEE, 2012, 32(1): 115-121, 10.
- [15] 董雷, 郭新志, 陈乃仕, 等. 应用改进序分量法的主动配电网不平衡潮流计算[J]. 电网技术, 2016, 40(7): 2113-2119.
- DONG Lei, GUO Xinzhizhi, CHEN Naishi, et al. Calculation of unbalanced power flow in active distribution networks based on improved sequence components[J]. Power System Technology, 2016, 40(7): 2113-2119.
- [16] 李健, 黄俊铭, 朱建全, 等. 基于过程状态特征化的配电网线损计算[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(10): 55-61.
- LI Jian, HUANG Junming, ZHU Jianquan, et al. Line loss calculation for distribution network based on state characterization[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(10): 55-61.
- [17] 王彪, 郑涛, 倪斌, 等. 计及三相负荷不平衡的农村低压配电网理论线损计算[J]. 电力科学与技术学报, 2013, 28(1): 81-85.
- WANG Biao, ZHENG Tao, NI Bin, et al. Theoretical line loss calculation of rural low-voltage distribution networks considering unbalanced three-phase loads[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2013, 28(1): 81-85.
- [18] 袁旭峰, 鹿振国, 许文强, 等. 基于前推回代三相潮流的低压台区理论线损计算研究[J]. 电测与仪表, 2014, 51(9): 1-5.
- YUAN Xufeng, LU Zhengguo, XU Wenqiang, et al. Study on the theoretical line loss calculation of low-voltage transformer areas based on forward-back sweep three-phase power flow algorithm[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2014, 51(9): 1-5.
- [19] 方向晖. 基于三相负荷不平衡的公用低压台区线路线损计算[J]. 浙江电力, 2011, 30(9): 57-60.
- FANG Xianghui. Calculation of line loss for public low-voltage transformer areas based on unbalanced three-phase load[J]. Zhejiang Electric Power, 2011, 30(9): 57-60.
- [20] 金良峰, 沈健, 王长江. 营配贯通在业扩报装勘查作业中的应用[J]. 浙江电力, 2015, 34(6): 61-63.
- JIN Liangfeng, SHEN Jian, WANG Changjiang. Application of marketing and distribution integration in business expansion and installation reporting reconnaissance[J]. Zhejiang Electric Power, 2015, 34(6): 61-63.

收稿日期: 2018-01-16; 修回日期: 2018-03-12

作者简介:

郭志民(1977—), 男, 通信作者, 本科, 高级工程师, 研究方向为配电网运维技术; E-mail: zhimin.guo@163.com

张永浩(1964—), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要研究方向为电力系统自动化、继电保护; E-mail: 13703226455@sina.com

周兴华(1978—), 男, 硕士研究生, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统自动化、配电网规划。E-mail: cauzxhua@126.com

(编辑 张爱琴)