

УДК 621.311

## АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТИ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ АКТИВНОЙ ПРОВОДИМОСТИ ИЗОЛЯЦИИ В НЕСИММЕТРИЧНОЙ СЕТИ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В

Б.Б. Утегулов, А.Б. Утегулов,

А.Б. Уахитова, С.Т. Амургалинов

*Павлодарский государственный университет*

*им. С. Торайгырова*

Выполнение арифметических действий определения активной проводимости изоляции в несимметричной сети с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В содержат погрешность. Поэтому требуется произвести анализ погрешности. Производится анализ погрешности путем определения случайной относительной среднеквадратичной погрешности. При анализе погрешности необходимо учитывать влияние величины вводимой активной дополнительной проводимости. Анализ относительной среднеквадратичной погрешности определения параметров изоляции учитывает класс точности измерительных приборов.

На основе проведенного анализа погрешности определяются границы изменения величины напряжения фазы относительно земли в зависимости от изменения величины вводимой дополнительной проводимости между измеряемой величиной напряжения фазы электрической сети относительно земли, где погрешности определения искомых величин лежат в области допустимых пределах. При этом обеспечивается безопасность производства работ при эксплуатации трехфазной электрической сети с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В на горных предприятиях.

Анализ погрешности разработанного метода определения активной проводимости изоляции в несимметричной сети с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В производится с использованием основных положений теории ошибок и теоретических основ электротехники [1].

Определяем случайную относительную среднеквадратичную погрешность для активной проводимости изоляции сети напряжением до 1000 В, по полученной математической зависимости

$$g = \left( \frac{3U_{\phi\phi}^2}{U_a^2} - \frac{3U_{\phi\phi}^2}{(U_a - \sqrt{3}U_{\phi\phi})^2} - 1 \right) \frac{U_{\phi\phi 1}(U_a - \sqrt{3}U_{\phi\phi})g_1}{2 \begin{bmatrix} U_{\phi\phi}(U_a - \sqrt{3}U_{\phi\phi 1}) - \\ -U_{\phi\phi 1}(U_a - \sqrt{3}U_{\phi\phi}) \end{bmatrix}}, \quad (1)$$

где  $U_{\xi}, U_{\phi\sigma}$  – величины, получаемые прямыми измерениями для косвенного определения активной проводимости изоляции сети.  
 $U_{\phi\sigma 1}, g_1$

Случайная относительная среднеквадратичная погрешность метода при определении активной проводимости изоляции в несимметричной сети с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В определяется из выражения:

$$\varepsilon_g = \frac{g_*}{\Delta} = \frac{1}{g} \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial U_{\text{л}}}\right)^2 \Delta U_{\text{л}}^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial U_{\phi\sigma}}\right)^2 \Delta U_{\phi\sigma}^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial U_{\phi\sigma 1}}\right)^2 \Delta U_{\phi\sigma 1}^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial g_1}\right)^2 \Delta g_1^2} \quad (2)$$

где  $\frac{\partial g}{\partial U_{\text{л}}}; \frac{\partial g}{\partial U_{\phi\sigma}}; \frac{\partial g}{\partial U_{\phi\sigma 1}}; \frac{\partial g}{\partial g_1}$  – частные производные функции  $g = f(U_{\text{л}}, U_{\phi\sigma}, U_{\phi\sigma 1}, g_1)$ .

$\Delta U_{\text{л}}, \Delta U_{\phi\sigma}, \Delta U_{\phi\sigma 1}, \Delta g_1$  – абсолютные погрешности прямых измерений величин  $U_{\text{л}}, U_{\phi\sigma}, U_{\phi\sigma 1}, g_1$ , которые определяются следующими выражениями:

$$\begin{aligned} \Delta U_{\text{л}} &= U_{\text{л}} \Delta U_{\text{л}*}; \quad \Delta U_{\phi\sigma} = U_{\phi\sigma} \Delta U_{\phi\sigma}*; \\ \Delta U_{\phi\sigma 1} &= U_{\phi\sigma 1} \Delta U_{\phi\sigma 1}*; \quad \Delta g_1 = g_1 \Delta g_{1*} \end{aligned} \quad (3)$$

Для определения погрешности измерительных приборов принимаем, что  $\Delta U_{\text{л}*} = \Delta U_{\phi\sigma}* = \Delta U_{\phi\sigma 1}* = \Delta U_{\text{л}*}$ , где  $\Delta U_{\text{л}*}$  – относительная погрешность измерительных цепей напряжения;  $\Delta g_{1*} = \Delta R_{\text{л}}^{-1}$  – относительная погрешность измерительного прибора, измеряющего сопротивление вводимой дополнительной проводимости.

Определяем частные производные функции  $g = f(U_{\text{л}}, U_{\phi\sigma}, U_{\phi\sigma 1}, g_1)$  по переменным  $U_{\text{л}}, U_{\phi\sigma}, U_{\phi\sigma 1}, g_1$ :

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial g}{\partial U_n} &= \left( \frac{1}{(U_n - \sqrt{3}U_{\phi_0})^3} - \frac{1}{U_n^3} \right) \frac{6U_{\phi_0}^2 U_{\phi_01} (U_n - \sqrt{3}U_{\phi_0}) g_1}{2U_n (U_{\phi_0} - U_{\phi_01})} + \\
 &+ \left( \frac{3U_{\phi_0}^2}{U_n^2} - \frac{3U_{\phi_0}^2}{(U_n - \sqrt{3}U_{\phi_0})^2} - 1 \right) \frac{\sqrt{3}U_{\phi_0} U_{\phi_01} g_1}{2U_n^2 (U_{\phi_0} - U_{\phi_01})} \\
 \frac{\partial g}{\partial U_{\phi_0}} &= \left( \frac{1}{U_n^2} - \frac{U_n}{(U_n - \sqrt{3}U_{\phi_0})^3} \right) \frac{6U_{\phi_0} U_{\phi_01} (U_n - \sqrt{3}U_{\phi_0}) g_1}{2U_n (U_{\phi_0} - U_{\phi_01})} - \\
 &- \left( \frac{3U_{\phi_0}^2}{U_n^2} - \frac{3U_{\phi_0}^2}{(U_n - \sqrt{3}U_{\phi_0})^2} - 1 \right) \frac{\left[ \frac{\sqrt{3}U_{\phi_01} (U_{\phi_0} - U_{\phi_01}) - U_{\phi_01} (U_n - \sqrt{3}U_{\phi_0})}{2U_n (U_{\phi_0} - U_{\phi_01})^2} \right] g_1}{2U_n (U_{\phi_0} - U_{\phi_01})^2} \\
 \frac{\partial g}{\partial U_{\phi_01}} &= \left( \frac{3U_{\phi_0}^2}{U_n^2} - \frac{3U_{\phi_0}^2}{(U_n - \sqrt{3}U_{\phi_0})^2} - 1 \right) \frac{(U_n U_{\phi_0} - \sqrt{3}U_{\phi_0}^2) g_1}{2U_n (U_{\phi_0} - U_{\phi_01})^2}; \\
 \frac{\partial g}{\partial g_1} &= \left( \frac{3U_{\phi_0}^2}{U_n^2} - \frac{3U_{\phi_0}^2}{(U_n - \sqrt{3}U_{\phi_0})^2} - 1 \right) \frac{U_{\phi_01} (U_n - \sqrt{3}U_{\phi_0})}{2U_n (U_{\phi_0} - U_{\phi_01})^2}; \\
 \frac{\partial g}{\partial g_0} &= \frac{U_{\phi_0}^4 - 2U_{\phi_0} U_{\phi_0}^2 + 2U_{\phi_0}^3 U_{\phi_0} - U_{\phi_0}^2 U_{\phi_0}^2 - U_{\phi_0}^4}{2U_{\phi_0}^2 (U_{\phi_0} - U_{\phi_0})^2}.
 \end{aligned} \tag{4}$$

Определяем случайную относительную среднеквадратичную погрешность активной проводимости изоляции фаз относительно земли в несимметричной электрической сети, путем решения уравнения (2), подставив в него значения частных производных уравнения (4) и значения частных абсолютных погрешностей (3), при этом полагая, что  $\Delta U_* = \Delta R_*^{-1} = \Delta$ .

Тогда получим

$$\varepsilon_g = \sqrt{ \left[ \frac{U_{\phi_01}}{(U_{\phi_0} - U_{\phi_01})} \right]^2 + \frac{\left[ \frac{[(U_n - \sqrt{3}U_{\phi_0})^3 - U_n^3] 6U_{\phi_0}^2 (U_{\phi_0} - U_{\phi_01}) - U_{\phi_01} [3U_{\phi_0}^2 (U_n - \sqrt{3}U_{\phi_0})^2 - 3U_{\phi_0}^2 U_n^2 - U_n^2 (U_n - \sqrt{3}U_{\phi_0})^2] \times [\sqrt{3}(U_{\phi_0} - U_{\phi_01}) - (U_n - \sqrt{3}U_{\phi_0})]}{(U_n - \sqrt{3}U_{\phi_0})(U_{\phi_0} - U_{\phi_01})(3U_{\phi_0}^2 \times (U_n - \sqrt{3}U_{\phi_0})^2 - 3U_{\phi_0}^2 U_n^2 - U_n^2 (U_n - \sqrt{3}U_{\phi_0})^2)} \right]^2}{(U_n - \sqrt{3}U_{\phi_0}) [3U_{\phi_0}^2 (U_n - \sqrt{3}U_{\phi_0})^2 - 3U_{\phi_0}^2 U_n^2 - U_n^2 (U_n - \sqrt{3}U_{\phi_0})^2]} + \frac{\left[ \frac{6U_{\phi_0}^2 [U_n^3 - (U_n - \sqrt{3}U_{\phi_0})^3] + \sqrt{3}U_{\phi_0} [3U_{\phi_0}^2 \times (U_n - \sqrt{3}U_{\phi_0})^2 - 3U_{\phi_0}^2 U_n^2 - U_n^2 (U_n - \sqrt{3}U_{\phi_0})^2]}{(U_n - \sqrt{3}U_{\phi_0}) [3U_{\phi_0}^2 (U_n - \sqrt{3}U_{\phi_0})^2 - 3U_{\phi_0}^2 U_n^2 - U_n^2 (U_n - \sqrt{3}U_{\phi_0})^2]} \right]^2}{(U_n - \sqrt{3}U_{\phi_0}) [3U_{\phi_0}^2 (U_n - \sqrt{3}U_{\phi_0})^2 - 3U_{\phi_0}^2 U_n^2 - U_n^2 (U_n - \sqrt{3}U_{\phi_0})^2]} } + 1 \tag{5}$$

Уравнение (5) выразим в относительных единицах:

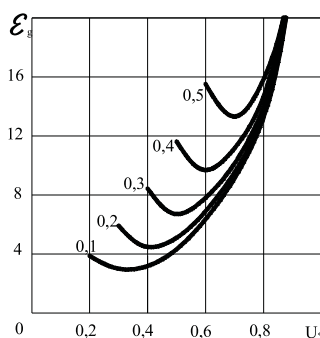
$$\varepsilon_g = \sqrt{\left[ \frac{U_*}{(U_* - U_{*1})} \right]^2 + \frac{\left[ \begin{aligned} & [(1-U_*)^3 - 1]2U_*^2(U_* - U_{*1}) - \\ & 3 \cdot U_* [(U_* - 1)^3 (U_* + 1) - U_*^2] \cdot \\ & \cdot [(U_* - U_{*1}) - (1 - U_*)] \end{aligned} \right]^2}{\{ (1-U_*)(U_* - U_{*1}) [(U_* - 1)^3 (U_* + 1) - U_*^2] \}^2}} + 1 + \sqrt{\left[ \frac{2U_*^2 [1 - (1-U_*)^3] + U_* [(U_* - 1)^3 (U_* + 1) - U_*^2]}{(1-U_*) [(U_* - 1)^3 (U_* + 1) - U_*^2]} \right]^2}$$

где  $U_* = \frac{U_{\text{фо}}}{U_{\text{л}}}$ ;  $U_{*1} = \frac{U_{\text{фо1}}}{U_{\text{л}}}$ .

На основе полученных математических уравнений случайных относительных среднеквадратичных погрешностей определения активной проводимости изоляции фаз электрической сети относительно земли строим зависимости изменения погрешности от функций изменения напряжения и от величины вводимой активной дополнительной проводимости, при использовании измерительных приборов с классом точности 0,5 (рис.1):

$$\varepsilon_g = \frac{\Delta g_*}{\Delta} = f(U_*, U_{*1})$$

Математические зависимости относительных среднеквадратичных погрешностей активной проводимостей изоляции фаз электрической сети с изолированной нейтралью (рис. 1) характеризуют изменение погрешности в зависимости от величины активной дополнительной проводимости  $g_1$ , которая вводится между фазой электрической сети и землей.



$$U_{*1} = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$$

Рисунок 1 – Относительные среднеквадратичные погрешности определения активной проводимости изоляции сети напряжением до 1000 В.

При определении активной проводимости изоляции фаз электрической сети относительно земли, (рис. 1) подбирается активная дополнительная проводимость  $g_1$ , чтобы  $U_* = 0,2 - 0,8$ , при  $U_{*1} = 0,1 - 0,5$ , тогда погрешность не превышает 20,0 % при использовании измерительных приборов кл. точности 1.0.

Следует отметить, что при использовании измерительных приборов с кл. точности 0.5, погрешности определения  $\epsilon_g$  – активной проводимости изоляции уменьшается в два раза, что позволяет получить более достоверные данные при определении параметров изоляции по разработанным методам.

Разработанный метод определения активной проводимости изоляции сети с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В обеспечивает удовлетворительную точность при определении параметров изоляции, а также простоту и безопасность производства работ в действующих электроустановках напряжением до 1000 В

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зайдель А.Н. Элементарные оценки ошибок измерений. – 3-е изд. – Ленинград: Наука, 1968, с. 97.

#### *Түйіндеме*

*Осы жұмыста электротехника теориялық негіздердің және негізгі жайларының теория қателері бойынша кернеуі 1000 В дейін бейтарабы оқшауланған симметриялық емес торапта оқшаулама активті өткізгіштік анықтау әдісінің қателік талдауы көрсетілген. Бұл әдіс оқшаулама параметрін анықтау кезінде қанағаттанарлық дәлдігін қамсыздандырады, қарапайымдылығын және кернеуі 1000 В дейін әрекеттегі электрқондырғыларда жұмыстарды жүргізу қауіпсіздігін қамтамасыз етеді.*

#### *Resume*

*In work made analysis of inaccuracy of developping method of determination of active conductivity to insulation in asymmetrical network with insulated neutral by the voltage before 1000 V with using the main positions of theory of mistakes and theoretical основ electrical engineering. According to tinned data a method ensures satisfactory accuracy at determination of parameters to insulation, as well as simplicity and safety of construction in acting electrical installation by voltage before 1000 V*