

«Сейфуллин окулары – 16: Жаңа формациядағы жастар ғылыми – Қазақстанның болашағы» атты халықаралық ғылыми-теориялық конференциясының материалдары = Материалы Международной научно-теоретической конференции «Сейфуллинские чтения – 16: Молодежная наука новой формации – будущее Казахстана». - 2020. - Т.1, Ч.2 - С.254-257

## **УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОВОДИМОСТИ ИЗОЛЯЦИИ И ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ В ТРЕХФАЗНОЙ СЕТИ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ С НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В**

*Утегулов А.Б., Ногай А.С., Таткеева Г.Г.*

Электрооборудование и механизмы горнодобывающих предприятиях нуждаются в обеспечении повышенной безопасности [1, 2].

В настоящее время сети с изолированной нейтралью используется везде, где нужно обеспечить повышенную безопасность или нет возможности сделать нормальное заземление. Для обеспечения роста уровня электробезопасности необходимо знать состояние изоляции электроустановок находящихся под рабочим напряжением.

Разработанный нами метод определения параметров изоляции в сети с изолированной нейтралью напряжением выше 1000 В основан на измерении напряжения нулевой последовательности и напряжения фазы относительно земли до и после подключения активной дополнительной проводимости между этой фазой и землей [3]. При работе в электросетях важным является обеспечение электробезопасности от токов утечек и коротких замыканий, поэтому необходимо в разработанное нами устройство ввести защитное отключение.

С точки зрения оценки влияния нестационарных режимов на условия электробезопасности интерес представляет математическое моделирование электрической сети, оборудованной устройством защитного отключения с различными фильтрами присоединения [4].

Целью данной работы является создание эффективного устройства, способного проводить измерения параметров проводимости изоляции и выполнять защитные отключения в сети с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В.

Известно, что систему с изолированной нейтралью можно представить трехфазной сетью, в которой обмотка трансформатора может быть соединена треугольником или звездой. Причем, от линии отходят резисторы,

подключенные к заземлению и параллельно сопротивлению стоят конденсаторы, по которым в кабельной или воздушной линии протекают токи утечки. Эти элементы цепи можно представить двумя составляющими, одна из которых активная, а вторая реактивная.

На величину тока через человека прикосновении к фазе сети существенное влияние оказывает уровень сопротивления изоляции фаз сети относительно земли и степень их симметрии, определяемая предшествующим режимом утечки[3].

Для определения величин напряжений фаз относительно земли при различных сочетаниях параметров изоляции, до момента включения человека в электрическую сеть с активно-индуктивным фильтром присоединения устройством защитного отключения может быть использована расчетная схема рис. 1.

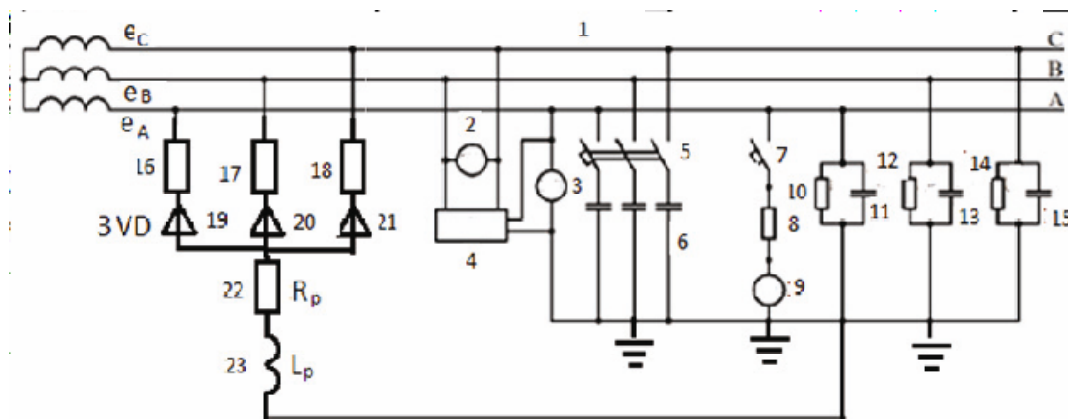


Рис.1– Принципиальная электрическая схема для измерения параметров изоляции и защитного отключения активно-индуктивным фильтром присоединения в трехфазной электрической сети до 1000 В с изолированной нейтралью

Предлагаемый нами способ поясняется схемой электрической принципиальной (рис. 1), содержащей: 1 - трехфазная электрическая сеть с фазами А, В и С; 2 - вольтметр, измеряющий величину модуля напряжения фазы относительно земли; 3 - вольтметр, измеряющий величину модуля линейного напряжения; 4 - прибор, измеряющий величину угла сдвига фаз между вектором линейного напряжения и вектором напряжения фазы относительно земли; 5 - выключатель нагрузки, подключающий дополнительные емкостные проводимости между фазами сети и землей; 6 - дополнительные емкостные проводимости, подключающие между фазами

сети и земель; 7 - выключатель нагрузки дополнительной активной нагрузки, 8 - дополнительная активная проводимость, соответствующая сопротивлению поврежденной фазы сети относительно земли; 9 - вольтметр, измеряющий величину 10, 12, 14 - емкостные фазные проводимости изоляции сети; 11, 13, 15 - активные фазные проводимости; 16, 17, 18 - активные нагрузки; 19, 20, 21 - полупроводниковые вентили; 22 - активное сопротивление, 23 - индуктивность.

Правая часть схемы, представленная позициями 2 – 15 позволяет проводить измерения параметров проводимости изоляции: полную (у), емкостную (b), проводимости изоляции сети, а также дополнительную проводимость (g<sub>0</sub>) между фазой сети и землей по следующим формулам:

$$y = \frac{U_{\phi 1}(U_s^2 - 3U_{\phi 11}^2 - 3,46U_s U_{\phi 11} \sin \alpha_1)}{[U_{\phi 01}(U_s^2 - 3U_{\phi 01}^2 - 3,46U_s U_{\phi 01} \sin \alpha) - U_{\phi 0}(U_s^2 - 3U_{\phi 02}^2 - 3,46U_s U_{\phi 02} \sin \alpha_1)]} b_{\text{н}}, \quad (1)$$

$$b = \frac{(U_s - 1,73U_{\phi 0} \sin \alpha)(U_s^2 - 3U_{\phi 11}^2 - 3,46U_s U_{\phi 11} \sin \alpha_1)}{[(U_s^2 - 3U_{\phi 0}^2 - 3,46U_s U_{\phi 0} \sin \alpha)(U_s - 1,73U_{\phi 01} \sin \alpha) - (U_s^2 - 3U_{\phi 01}^2 - 3,46U_s U_{\phi 01} \sin \alpha_1)(U_s - 1,73U_{\phi 0} \sin \alpha)]} b_{\text{н}}, \quad (2)$$

$$g_0 = \frac{(U_s^2 - 3U_{\phi 0}^2 - 3,46U_s U_{\phi 0} \sin \alpha)(U_s^2 - 3U_{\phi 01}^2 - 3,46U_s U_{\phi 01} \sin \alpha_1)}{[(U_s^2 - 3U_{\phi 0}^2 - 3,46U_s U_{\phi 0} \sin \alpha)(U_s - 1,73U_{\phi 01} \sin \alpha) - (U_s^2 - 3U_{\phi 01}^2 - 3,46U_s U_{\phi 01} \sin \alpha_1)(U_s - 1,73U_{\phi 0} \sin \alpha)]} b_{\text{н}}$$

где U<sub>л</sub> - линейное напряжение; U<sub>φ0</sub>, U<sub>φ01</sub>- напряжения фазы относительно земли до и после подключения емкостной дополнительной проводимости между фазами сети и землей, - углы сдвига фаз между вектором линейного напряжения и вектором напряжения фазы относительно земли до и после подключения емкостных дополнительных проводимостей между фазами сети и землей; –емкостная дополнительная проводимость, которая подключается.

В случае если ток утечки в электрической схеме превышает предельное значение (защитное) происходит срабатывание устройства защитного отключения в сети. Обычно для рудничных сетей время срабатывания защиты не должно превышать 0,2 с.

Для определения величин напряжений фаз относительно земли при различных сочетаниях параметров изоляции, до момента включения человека в электрическую сеть с активно-индуктивным фильтром присоединения

устройства защитного отключения может быть использована расчетная схема рис. 1. Левая часть схемы, представленная на рис.1 позициями 16 - 23 совместно с 10 - 15 выполняет защитную функцию и срабатывает в случае избыточных токов утечки и короткого замыкания. Причем, активные сопротивления обозначенные 10, 12, 14 можно представить, как эквивалентное сопротивление  $RЭ$ , а емкости пронумерованные 11, 13, 15 записать, как  $CЭ$ .

В схеме (3VD) одновременно может работать только один клапан, анод которого имеет более высокий потенциал в данную часть периода. Исходя из этого, напряжение на клапане  $u_{VD}$  определится по формулам:

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{VD} = u_A - u_P \text{ при } t_1 \leq t \leq t_2 \\ \quad \quad \quad \square \\ u_{VD} = u_B - u_P \text{ при } t_2 \leq t \leq t_3 \\ u_{VD} = u_C - u_P \text{ при } t_3 \leq t \leq t_1 + \frac{2\pi}{\omega} \end{array} \right. \quad (4)$$

где  $t_1, t_2, t_3$  — моменты времени, при которых происходят переключения клапанов с одной фазы на другую;  $u_P$  — падение напряжения в измерительной цепи, связанной с устройством защитного отключения. Система дифференциальных уравнений в форме Коши имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{du_0}{dt} = -\frac{u_0}{R_3 C_3} - \frac{e_A}{r_A C_3} - \frac{e_B}{r_B C_3} - \frac{e_C}{r_C C_3} - \frac{i_P}{C_3}; \\ \quad \quad \quad \square \\ \frac{di_P}{dt} = \frac{u_P}{L_P} - \frac{R_P}{L_P} i_P; \\ \quad \quad \quad \square \\ u_P = u_A - i_P R_P \text{ при } t_1 \leq t \leq t_2 \\ u_P = u_B - i_P R_P \text{ при } t_2 \leq t \leq t_3 \\ \quad \quad \quad \square \\ u_P = u_C - i_P R_P \text{ при } t_3 \leq t \leq t_1 + \frac{2\pi}{\omega} \\ \quad \quad \quad \square \\ u_A = u_0 - e_A \\ u_B = u_0 - e_B \\ u_C = u_0 - e_C \end{array} \right. \quad (5)$$

где  $e_A, e_B, e_C$  — мгновенные значения ЭДС соответствующих фаз;  $u_A, u_B, u_C$  — мгновенные значения фазных напряжений сети;  $u_0, i_0$  — мгновенные значения напряжения и тока смещения нейтрали;  $L_P$  и  $R_P$  — соответственно индуктивность и активное сопротивление измерительной цепи устройства защитного отключения.

Представленные формулы (4 и 5) характеризуют математическую модель работы устройства защитного отключения с фильтром присоединения.

Таким образом, можно заключить, что разработанный нами способ измерения полной проводимости и метод определения активной проводимости изоляции в сети с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В может обеспечить безопасность сети в случае подключения устройства защитного отключения с фильтром присоединения данного типа.

#### Список литературы

1.Цапенко Е.Ф, Шакундин С.З. Электробезопасность на горных предприятиях. – М.: 2008, 103 с.

2. Влияние нестационарных режимов на электробезопасность при эксплуатации электрооборудования горных предприятий. - М.:«Увеличение тока однофазного замыкания в сети путем подключения выключателем нагрузки QF2, конденсаторов С1, С2, С3 между фазами электрической сети и землей», 2011. - 326 с.

3. Utegulov B.B. Method for determining the single-phase ground fault current in a three phase electrical network with an isolated neutral. 2019 th // International Conference on Electrical and Electronics Engineering - Istanbul, Turkey, 2019. P. 24-27 (Scopus)