

**Збродыга В.М., к.т.н., доцент, Зеленкевич А.И., к.т.н.**  
**УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь**  
**СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА**  
**«ЗВЕЗДА-ТРЕУГОЛЬНИК С ЗИГЗАГОМ» ДЛЯ ТОКОВ**  
**ПРЯМОЙ, ОБРАТНОЙ И НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ**

Если первичные обмотки и половины вторичных обмоток, размещенные на одном стержне, трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-треугольник с зигзагом» рассматривать как обмотки трехобмоточного трансформатора, то основании выражений [1,2] получим его схемы замещения для токов прямой, обратной и нулевой последовательности. На рисунках 1-3 представлены схемы замещения для обмоток, расположенных на стержне магнитопровода фазы «А». Стрелками показаны положительные направления напряжений, токов и ЭДС.

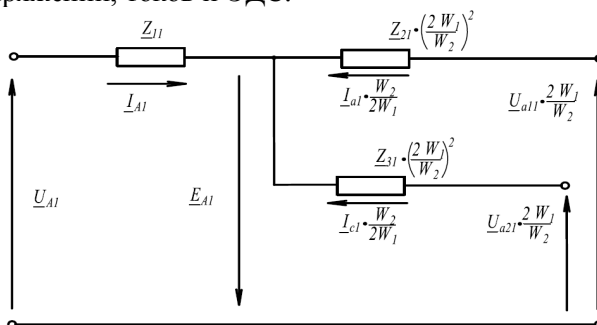


Рисунок 1 – Схема замещения трансформатора для токов прямой последовательности

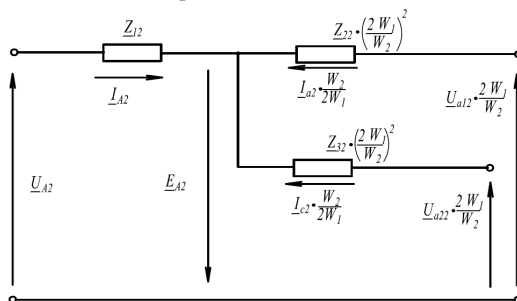


Рисунок 2 – Схема замещения трансформатора для токов обратной последовательности

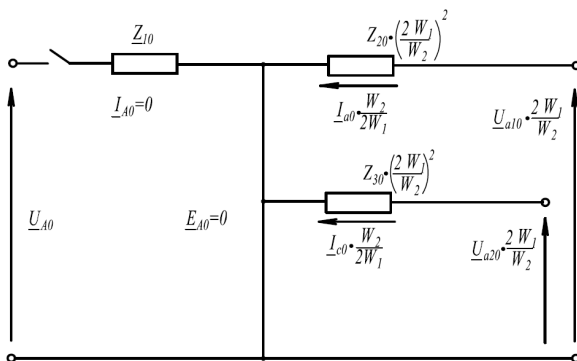


Рисунок 3 – Схема замещения трансформатора для токов нулевой последовательности

Для обмоток фазы «А» будет следующее соотношение составляющих прямой и обратной последовательностей первичной и вторичной стороны:

$$\underline{U}_{A1} - \underline{I}_{A1} \underline{Z}_{11} = -\frac{W_1}{W_2} \underline{U}_{a1} - \frac{W_2}{W_1} \underline{I}_{a1} \cdot \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^2 Z_{(2-3)1}; \quad (1)$$

$$\underline{U}_{A2} - \underline{I}_{A2} \underline{Z}_{12} = -\frac{W_1}{W_2} \underline{U}_{a2} - \frac{W_2}{W_1} \underline{I}_{a2} \cdot \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^2 Z_{(2-3)2}.$$

Системы токов прямой и обратной последовательности трансформируются с вторичной стороны на первичную и наоборот и являются уравновешенными.

Сопротивления короткого замыкания трансформатора токам прямой и обратной последовательностей равны:

$$Z_{K1} = Z_{11} + \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^2 Z_{(2-3)1}; \quad Z_{K2} = Z_{12} + \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^2 Z_{(2-3)2}. \quad (2)$$

С учетом, что

$$\frac{W_2}{W_1} I_{ma1} = I_{mA1}; \quad \frac{W_2}{W_1} I_{ma2} = I_{mA2}, \quad (3)$$

получим

$$\underline{U}_{A1} - \underline{I}_{A1} \underline{Z}_{K1} = -\frac{W_1}{W_2} \underline{U}_{a1}; \quad \underline{U}_{A2} - \underline{I}_{A2} \underline{Z}_{K2} = -\frac{W_1}{W_2} \underline{U}_{a2}. \quad (4)$$

Для составляющих нулевой последовательности:

$$\underline{U}_{A0} = -\frac{W_1}{W_2} \underline{U}_{a0} - \frac{W_2}{W_1} I_{a0} \cdot \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^2 Z_{(2-3)0} = 0, \quad (5)$$

откуда

$$-\frac{W_1}{W_2} \underline{U}_{a0} = \frac{W_2}{W_1} I_{a0} \cdot \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^2 Z_{(2-3)0}. \quad (6)$$

Сложив выражения (4) и (6), получим:

$$\underline{U}_a = -\frac{W_2}{W_1} (\underline{U}_{A1} - \underline{U}_{A2} + I_{A1} Z_{K1} + I_{A2} Z_{K2}) - I_{a0} Z_{(2-3)0}. \quad (7)$$

Аналогично определим вторичные напряжения фаз «В» и «С»:

$$\underline{U}_b = -\frac{W_2}{W_1} (\underline{U}_{B1} - \underline{U}_{B2} + I_{B1} Z_{K1} + I_{B2} Z_{K2}) - I_{b0} Z_{(2-3)0}; \quad (8)$$

$$\underline{U}_c = -\frac{W_2}{W_1} (\underline{U}_{C1} - \underline{U}_{C2} + I_{C1} Z_{K1} + I_{C2} Z_{K2}) - I_{c0} Z_{(2-3)0}. \quad (9)$$

#### Список использованной литературы

1. Збродыга, В.М. Улучшение показателей несинусоидальности и несимметрии напряжений в электроустановках сельскохозяйственного назначения применением трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-треугольник с зигзагом»: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02/ В.М. Збродыга. – Минск, 2010. – 20 с.
2. Збродыга, В.М. Особенности преобразования электрической энергии в трансформаторе со схемой соединения обмоток «звезда-треугольник с зигзагом»/ В.М. Збродыга, М.А. Прищепов, А.И. Зеленкевич, Г.И. Янукович// Агропанорама. – 2022. – № 5. – С. 25–33.

**Зеленкевич А.И., к.т.н., Збродыга В.М., к.т.н., доцент,  
Жидович А.А., Матреничев Е.А., Коротышевский Е.Ю.  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЕЙ НЕСИММЕТРИИ  
НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 0,4кВ  
МОЛОЧНО-ТОВАРНОЙ ФЕРМЫ**

Несимметричное трехфазное напряжение приводит к снижению производительности и срока службы электротермических, электро-

технологических и осветительных установок, нарушению режимов работы систем управления технологическими процессами.

Исследования уровня несимметрии напряжений по ГОСТ 32144-2013 [1] проводились при выполнении научно-исследовательской работы в электрических сетях молочно-товарной фермы на 400 голов в Минском районе с использованием цифрового трехфазного анализатора «Fluke 435» в сетях напряжением 0,4 кВ.

Измеренное значение напряжения – фаза «А» 240,4÷242,6 В, фаза «В» 233,6÷237,8 В, фаза «С» 237,1÷240,9 В.

По результатам измерений, определили значение отклонения напряжения для основной частоты (50Гц)  $\delta U_y$  (в %) по формуле:

$$\delta U_y = \frac{U_y - U_n}{U_n}; \quad (1)$$

где  $U_y$  – усреднённое значение фазного напряжение, В;

$U_n$  – номинальное фазное напряжение, В.

ГОСТ 32144-2013 предусматривает нормально допустимое значение отклонения напряжения равно  $\pm 10\%$ . Результаты расчёта отклонения напряжения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета отклонений напряжения в электрической сети 0,4кВ молочно-товарной фермы

Показатель	фаза А	фаза В	фаза С
Измеренное значение напряжения наибольшее, В	<b>242,6</b>	<b>237,8</b>	<b>240,9</b>
Величина отклонения напряжения наибольшее, %	5,48	3,39	4,74
Измеренное значение напряжения наименьшее, В	<b>240,4</b>	<b>233,6</b>	<b>237,1</b>
Величина отклонения напряжения наименьшее, %	4,52	1,57	3,09

Далее определили коэффициент несимметрии напряжений по ГОСТ 32144-2013, который предусматривает нормально допустимое значение коэффициента несимметрии напряжения по обратной и нулевой последовательностям – 2 %, предельно допустимое – 4 %.

Результаты расчета коэффициентов несимметрии напряжения по обратной и нулевой последовательностям приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения коэффициентов несимметрии напряжения по обратной и нулевой последовательностям

Наименование ввода	Показатель	Значение
сеть 0,4кВ молочно-товарной фермы	Коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности $K_{2(1)}$ , %	0,54
	Коэффициент несимметрии напряжения по нулевой последовательности $K_{0(1)}$ , %	<u>2,04</u>

Как видно из результатов расчета, величины коэффициентов несимметрии напряжения по обратной и нулевой последовательности в электрической сети 0,4кВ молочно-товарной фермы превышают установленные ГОСТ 32144-2013 нормы – 2 %.

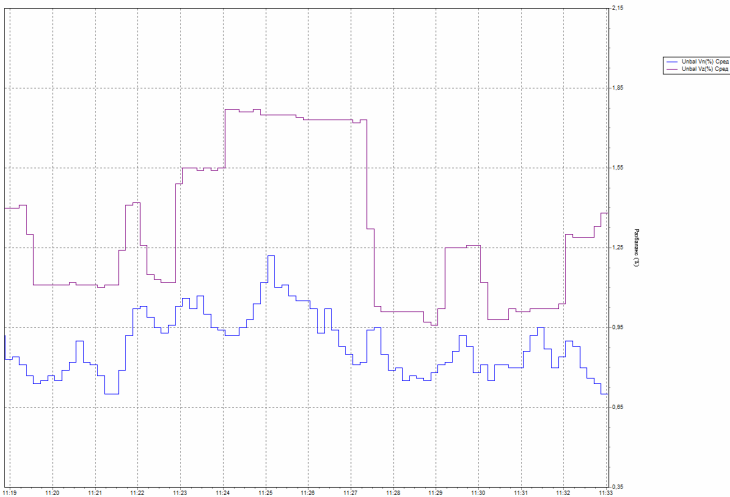


Рисунок 1 – График изменения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательностям по фазам A, B, C, соответственно

**Вывод.** В связи с тем, что величина коэффициента несимметрии напряжения по нулевой последовательности в электрической сети 0,4кВ молочно-товарной фермы превышает допустимые 2 %, сле-

дует предусмотреть внедрение организационных и технических мероприятий по симметрированию нагрузки.

#### Список использованных источников

1. ГОСТ 32144-2013 (EN 50160:2010, NEQ). Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Взамен ГОСТ 13109-97 ; введ. 01.02.2016. – Минск : Госстандарт, Минск : БелГИСС, 2015. – Ш, 16 с. : ил., табл. – (Государственный стандарт Республики Беларусь).

**Зеленькевич А.И., к.т.н., Збродыга В.М., к.т.н., доцент,  
Кот В.К., Литовченко А.А., Олейников Д.А.  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЕЙ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ  
НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 0,4кВ  
МОЛОЧНО-ТОВАРНОЙ ФЕРМЫ**

Наличие высокого уровня искажающих воздействий в напряжении питания электроприемников снижает их производительность, срок службы, нарушают режимы работы систем управления.

Исследования уровня несинусоидальности напряжений по ГОСТ 32144-2013 [1] проводились при выполнении научно-исследовательской работы последовательности в электрической сети 0,4кВ молочно-товарной фермы.

Измерения электрических параметров выполнялись с использованием цифрового трехфазного анализатора «Fluke 435» в сетях напряжением 0,4 кВ, который подключался к первичным цепям: цепи измерения напряжения – непосредственно; цепи измерения тока – с применением комплектных датчиков тока с диапазоном измерения тока 0÷3000А. Графики измеренных величин представлены на рисунках 1–3.