

**Збродыга В.М., к.т.н., доцент, Зеленкевич А.И., к.т.н.,  
Янукович Г.И., к.т.н, профессор**  
**УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь**  
**ВЛИЯНИЕ НЕСИММЕТРИИ НАГРУЗКИ НА ПЕРВИЧНЫЕ  
И ВТОРИЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА  
«ЗВЕЗДА-ТРЕУГОЛЬНИК С ЗИГЗАГОМ»**

При несимметричной нагрузке трансформатора «звезда-треугольник с зигзагом» [1-3] происходит компенсация МДС нулевой последовательности, а их магнитные потоки в стержнях магнитопровода равны нулю:

$$\Phi_{A0} = 0; \Phi_{B0} = 0; \Phi_{C0} = 0. \quad (1)$$

ЭДС, создаваемые магнитными потоками нулевой последовательности в обмотках также равны нулю:

$$\begin{aligned} e_{A0} &= -W_1 \frac{d\Phi_{A0}}{dt} = 0; e_{a0} = -W_2 \frac{d\Phi_{A0}}{dt} = 0; \\ e_{B0} &= -W_1 \frac{d\Phi_{B0}}{dt} = 0; e_{b0} = -W_2 \frac{d\Phi_{B0}}{dt} = 0; \\ e_{C0} &= -W_1 \frac{d\Phi_{C0}}{dt} = 0; e_{c0} = -W_2 \frac{d\Phi_{C0}}{dt} = 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $W_1$  – количество витков в одной фазе первичной обмотки, шт;

$W_2$  – количество витков в одной фазе вторичной обмотки, шт.

Напряжения нулевой последовательности первичной обмотки будут равны:

$$\underline{U}_{A0} = -\underline{E}_{A0} = 0; \underline{U}_{B0} = -\underline{E}_{B0} = 0; \underline{U}_{C0} = -\underline{E}_{C0} = 0, \quad (3)$$

где  $\underline{E}_{A0}, \underline{E}_{B0}, \underline{E}_{C0}$  – действующие значения ЭДС нулевой последовательности фаз «А», «В», «С» первичной обмотки, В.

Следовательно, трансформатор не будет генерировать напряжения нулевой последовательности в питающую сеть.

Первичные фазные напряжения равны сумме составляющих прямой и обратной последовательности:

$$\begin{aligned} \underline{U}_A &= \underline{U}_{A1} + \underline{U}_{A2} = -\underline{E}_{A1} - \underline{E}_{A2} + \underline{I}_{A1} \underline{Z}_{11} + \underline{I}_{A2} \underline{Z}_{12}; \\ \underline{U}_B &= \underline{U}_{B1} + \underline{U}_{B2} = -\underline{E}_{B1} - \underline{E}_{B2} + \underline{I}_{B1} \underline{Z}_{11} + \underline{I}_{B2} \underline{Z}_{12}; \\ \underline{U}_C &= \underline{U}_{C1} + \underline{U}_{C2} = -\underline{E}_{C1} - \underline{E}_{C2} + \underline{I}_{C1} \underline{Z}_{11} + \underline{I}_{C2} \underline{Z}_{12}, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $\underline{E}_{A1}, \underline{E}_{B1}, \underline{E}_{C1}; \underline{E}_{A2}, \underline{E}_{B2}, \underline{E}_{C2}$  – ЭДС прямой и обратной последовательности фаз «А», «В», «С» первичной обмотки, В;

$\underline{Z}_{11}, \underline{Z}_{12}$  – полные сопротивления токам прямой и обратной последовательностей первичных фазных обмоток, Ом;

$\underline{I}_{A1}, \underline{I}_{B1}, \underline{I}_{C1}; \underline{I}_{A2}, \underline{I}_{B2}, \underline{I}_{C2}$  – токи и обратной прямой последовательности фаз «А», «В», «С» первичной обмотки, А.

Напряжения нулевой последовательности вторичной обмотки будут вызваны только падениями напряжений от соответствующих токов на сопротивлениях фаз:

$$\begin{aligned}\underline{U}_{a0} &= 0 - \underline{I}_{a0} \underline{Z}_{(2-3)0} = -\underline{I}_{a0} \underline{Z}_{(2-3)0}; \\ \underline{U}_{b0} &= 0 - \underline{I}_{b0} \underline{Z}_{(2-3)0} = -\underline{I}_{b0} \underline{Z}_{(2-3)0}; \\ \underline{U}_{c0} &= 0 - \underline{I}_{c0} \underline{Z}_{(2-3)0} = -\underline{I}_{c0} \underline{Z}_{(2-3)0},\end{aligned}\quad (5)$$

где  $\underline{I}_{a0}, \underline{I}_{b0}, \underline{I}_{c0}$  – токи нулевой последовательности фаз «а», «b», «с» вторичной обмотки, А;

$\underline{Z}_{(2-3)0}$  – полные сопротивления токам нулевой последовательностей вторичных фазных обмоток, Ом.

Вторичные фазные напряжения будут равны:

$$\begin{aligned}\underline{U}_a &= \underline{U}_{a1} + \underline{U}_{a2} + \underline{U}_{a0} = \underline{E}_{a1} + \underline{E}_{a2} - \underline{I}_{a1} \underline{Z}_{(2-3)1} - \underline{I}_{a2} \underline{Z}_{(2-3)2} - \underline{I}_{a0} \underline{Z}_{(2-3)0}; \\ \underline{U}_b &= \underline{U}_{b1} + \underline{U}_{b2} + \underline{U}_{b0} = \underline{E}_{b1} + \underline{E}_{b2} - \underline{I}_{b1} \underline{Z}_{(2-3)1} - \underline{I}_{b2} \underline{Z}_{(2-3)2} - \underline{I}_{b0} \underline{Z}_{(2-3)0}; \\ \underline{U}_c &= \underline{U}_{c1} + \underline{U}_{c2} + \underline{U}_{c0} = \underline{E}_{c1} + \underline{E}_{c2} - \underline{I}_{c1} \underline{Z}_{(2-3)1} - \underline{I}_{c2} \underline{Z}_{(2-3)2} - \underline{I}_{c0} \underline{Z}_{(2-3)0},\end{aligned}\quad (6)$$

где  $\underline{U}_{a1}, \underline{U}_{b1}, \underline{U}_{c1}$  – напряжения прямой последовательности фаз «а», «b», «с» вторичной обмотки, В;

$\underline{U}_{a2}, \underline{U}_{b2}, \underline{U}_{c2}$  – напряжения обратной последовательности фаз «а», «b», «с» вторичной обмотки, В;

$\underline{E}_{a1}, \underline{E}_{b1}, \underline{E}_{c1}$  – ЭДС прямой последовательности фаз «а», «b», «с» вторичной обмотки, В;

$\underline{E}_{a2}, \underline{E}_{b2}, \underline{E}_{c2}$  – ЭДС обратной последовательности фаз «а», «b», «с» вторичной обмотки, В;

$\underline{I}_{a1}, \underline{I}_{b1}, \underline{I}_{c1}$  – токи прямой последовательности фаз «а», «b», «с» вторичной обмотки, А;

$\underline{I}_{a2}, \underline{I}_{b2}, \underline{I}_{c2}$  – токи обратной последовательности фаз «а», «b», «с» вторичной обмотки, А;

$\underline{I}_{a0}, \underline{I}_{b0}, \underline{I}_{c0}$  – токи нулевой последовательности фаз «а», «b», «с» вторичной обмотки, А;

$\underline{Z}_{(2-3)1}, \underline{Z}_{(2-3)2}$  – полные сопротивления токам прямой и обратной последовательностей вторичных фазных обмоток, Ом.

Несимметрия напряжений трансформатора обусловлена, главным образом, составляющими прямой и обратной последовательности, которые трансформируются с первичной на вторичную сторону и наоборот, а также падениями напряжений от токов прямой и обратной последовательности на сопротивлениях обмоток, которые незначительны.

Снижение несимметрии напряжений происходит вследствие компенсации составляющих нулевой последовательности, а их остаточные значения обусловлены падениями напряжений от токов нулевой последовательности на сопротивлениях фаз вторичной обмотки.

#### Список использованной литературы

1. Патент №2244 Трёхфазный трансформатор. / А.П. Сердешнов, Г.И. Янукович, Е.А. Сердешнов, Д.Г. Янукович; заявитель Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» – № 950299; заявл. 1995.06. 09; опубл. 30. 09. 1998 // Афiцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 1998. – №3(18). – С. 216–217.

2. 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.

3. 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. Зеленькевич, Г.И. Янукович// Агропанорама. – 2022. – № 5. – С. 25–33.