

2. www.eaton.com

3. Дайнеко В.А. Технология ремонта и обслуживания электрооборудования : учеб./ В.А. Дайнеко. – 3-е изд., испр. и доп. – Минск : РИПО, 2022. – 383 с.

**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**  
**СООТНОШЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ**  
**ПРИ НЕСИММЕТРИЧНОЙ НАГРУЗКЕ ТРАНСФОРМАТОРА**  
**«ЗВЕЗДА-ТРЕУГОЛЬНИК С ЗИГЗАГОМ»**

Первичная обмотка трансформатора [1, 2] соединена в звезду без нулевого провода, состоящая из двух одинаковых половин вторичная обмотка – в треугольник (рисунок 1).

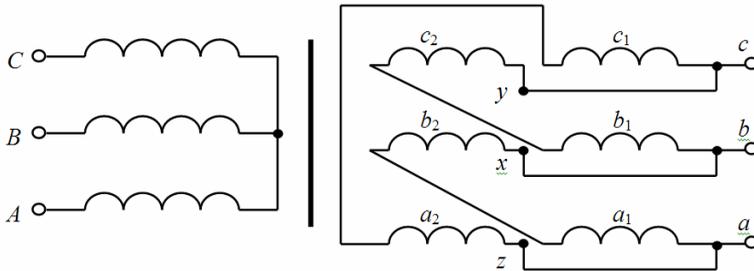


Рисунок 1 – Схема соединения обмоток трехфазного трансформатора «звезда-треугольник с зигзагом»

При работе трансформатора на несимметричную нагрузку фазные напряжения его первичной обмотки могут содержать составляющие прямой, обратной и нулевой последовательностей:

$$\underline{U}_A = \underline{U}_{A1} + \underline{U}_{A2} + \underline{U}_{A0}; \underline{U}_B = \underline{U}_{B1} + \underline{U}_{B2} + \underline{U}_{B0}; \underline{U}_C = \underline{U}_{C1} + \underline{U}_{C2} + \underline{U}_{C0}, (1)$$

где  $\underline{U}_{A1}, \underline{U}_{B1}, \underline{U}_{C1}, \underline{U}_{A2}, \underline{U}_{B2}, \underline{U}_{C2}, \underline{U}_{A0}, \underline{U}_{B0}, \underline{U}_{C0}$  – напряжения, соответственно, прямой, обратной, нулевой последовательности фаз «А», «В», «С» первичной обмотки, В.

В первичной обмотке нет путей для протекания токов нулевой последовательности и они равны нулю:

$$\underline{I}_{A0} = 0; \underline{I}_{B0} = 0; \underline{I}_{C0} = 0. \quad (2)$$

Фазные токи первичной обмотки равны сумме составляющих прямой и обратной последовательности:

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{A1} + \underline{I}_{A2}; \quad \underline{I}_B = \underline{I}_{B1} + \underline{I}_{B2}; \quad \underline{I}_C = \underline{I}_{C1} + \underline{I}_{C2}, \quad (3)$$

где  $\underline{I}_{A1}, \underline{I}_{B1}, \underline{I}_{C1}, \underline{I}_{A2}, \underline{I}_{B2}, \underline{I}_{C2}$  – токи, соответственно, прямой и обратной последовательности фаз «A», «B», «C» первичной обмотки, А.

При этом система фазных токов первичной обмотки является уравновешенной, а их сумма равна нулю:

$$\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = \underline{I}_{A1} + \underline{I}_{A2} + \underline{I}_{B1} + \underline{I}_{B2} + \underline{I}_{C1} + \underline{I}_{C2} = 0. \quad (4)$$

Фазные напряжения вторичной обмотки трансформатора могут содержать составляющие всех последовательностей:

$$\underline{U}_a = \underline{U}_{a1} + \underline{U}_{a2} + \underline{U}_{a0}; \quad \underline{U}_b = \underline{U}_{b1} + \underline{U}_{b2} + \underline{U}_{b0}; \quad \underline{U}_c = \underline{U}_{c1} + \underline{U}_{c2} + \underline{U}_{c0}, \quad (5)$$

где  $\underline{U}_{a1}, \underline{U}_{b1}, \underline{U}_{c1}; \underline{U}_{a2}, \underline{U}_{b2}, \underline{U}_{c2}; \underline{U}_{a0}, \underline{U}_{b0}, \underline{U}_{c0}$  – напряжения, соответственно, прямой, обратной, нулевой последовательности фаз «a», «b», «c» вторичной обмотки, В.

Фазные токи вторичной обмотки также могут содержать составляющие всех последовательностей:

$$\underline{I}_a = \underline{I}_{a1} + \underline{I}_{a2} + \underline{I}_{a0}; \quad \underline{I}_b = \underline{I}_{b1} + \underline{I}_{b2} + \underline{I}_{b0}; \quad \underline{I}_c = \underline{I}_{c1} + \underline{I}_{c2} + \underline{I}_{c0}, \quad (6)$$

где  $\underline{I}_{a1}, \underline{I}_{b1}, \underline{I}_{c1}; \underline{I}_{a2}, \underline{I}_{b2}, \underline{I}_{c2}; \underline{I}_{a0}, \underline{I}_{b0}, \underline{I}_{c0}$  – токи, соответственно, прямой, обратной, нулевой последовательности фаз «a», «b», «c» вторичной обмотки, А.

Токи прямой и обратной последовательности протекают по вторичным фазным обмоткам и замыкаются через нагрузку трансформатора. Они уравновешены, а их сумма равна нулю:

$$\underline{I}_{a1} + \underline{I}_{a2} + \underline{I}_{b1} + \underline{I}_{b2} + \underline{I}_{c1} + \underline{I}_{c2} = 0. \quad (7)$$

Составляющие нулевой последовательности могут протекать по вторичной обмотке трансформатора, соединенной в треугольник, не выходя в линии. Они равны и одинаково направлены во всех трех фазах:

$$\underline{I}_{a0} = \underline{I}_{b0} = \underline{I}_{c0}. \quad (8)$$

На основании второго закона Кирхгофа для первичной обмотки фазы «А» справедливо выражение:

$$\underline{U}_A = \underline{U}_{A1} + \underline{U}_{A2} + \underline{U}_{A0} = -\underline{E}_{A1} - \underline{E}_{A2} - \underline{E}_{A0} + \underline{I}_{A1} \underline{Z}_{11} + \underline{I}_{A2} \underline{Z}_{12}, \quad (9)$$

где  $\underline{E}_{A1}, \underline{E}_{A2}, \underline{E}_{A0}$  – ЭДС прямой, обратной и нулевой последовательности фазы «А» первичной обмотки, создаваемые основным магнитным потоком, В;

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

Для вторичной обмотки фазы «а» справедливо выражение:

$$\underline{U}_a = \underline{U}_{a1} + \underline{U}_{a2} + \underline{U}_{a0} = \underline{E}_{a1} + \underline{E}_{a2} + \underline{E}_{a0} - \underline{I}_{a1} \underline{Z}_{(2-3)1} - \underline{I}_{a2} \underline{Z}_{(2-3)2} - \underline{I}_{a0} \underline{Z}_{(2-3)0}, \quad (10)$$

где  $\underline{E}_{a1}, \underline{E}_{a2}, \underline{E}_{a0}$  – ЭДС прямой, обратной и нулевой последовательности фазы «а» вторичной обмотки, создаваемые основным магнитным потоком, В;

$\underline{Z}_{(2-3)1}, \underline{Z}_{(2-3)2}, \underline{Z}_{(2-3)0}$  – полные сопротивления токам прямой, обратной и нулевой последовательностей вторичных фазных обмоток, Ом.

$$\underline{Z}_{(2-3)1} = \underline{Z}_{21} + \underline{Z}_{31}; \underline{Z}_{(2-3)2} = \underline{Z}_{22} + \underline{Z}_{32}; \underline{Z}_{(2-3)0} = \underline{Z}_{20} + \underline{Z}_{30}, \quad (11)$$

где  $\underline{Z}_{21}, \underline{Z}_{22}, \underline{Z}_{20}$  – полные сопротивления половин  $a_1, b_1, c_1$  вторичных фазных обмоток соответственно токам прямой, обратной и нулевой последовательности, Ом;

$\underline{Z}_{31}, \underline{Z}_{32}, \underline{Z}_{30}$  – полные сопротивления половин  $a_2, b_2, c_2$  вторичных фазных обмоток соответственно токам прямой, обратной и нулевой последовательности, Ом.

#### 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 // Афіцыйны 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 со-

единения обмоток «звезда-треугольник с зигзагом»: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02/ В.М. Збродыга. – Минск, 2010. – 20 с.

**Збродыга В.М., к.т.н., доцент, Зеленкевич А.И., к.т.н.,  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
КОМПЕНСАЦИЯ МДС И МАГНИТНЫХ ПОТОКОВ  
НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ  
В ТРАНСФОРМАТОРЕ «ЗВЕЗДА-ТРЕУГОЛЬНИК  
С ЗИГЗАГОМ»**

В первичной обмотке трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-треугольник с зигзагом» [1-3] нет путей для протекания токов нулевой последовательности и они равны нулю:

$$\underline{I}_{A0} = 0; \underline{I}_{B0} = 0; \underline{I}_{C0} = 0. \quad (1)$$

Создаваемые ими МДС также равны нулю:

$$i_{A0}W_1 = 0; i_{B0}W_1 = 0; i_{C0}W_1 = 0, \quad (2)$$

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

По вторичной обмотке трансформатора, соединенной в треугольник, составляющие нулевой последовательности могут протекать внутри треугольника, не выходя в линии. Они равны и одинаково направлены во всех трех фазах:

$$\underline{I}_{a0} = \underline{I}_{b0} = \underline{I}_{c0}. \quad (3)$$

Эти токи создадут равные между собой по величине МДС половин обмоток  $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2$ :

$$i_{a0} \frac{W_2}{2} = i_{b0} \frac{W_2}{2} = i_{c0} \frac{W_2}{2}, \quad (4)$$

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

С учетом направления намотки и маркировки выводов токи нулевой последовательности обтекают половины фаз вторичных обмоток  $a_1, b_1, c_1$  и  $a_2, b_2, c_2$ , расположенных на каждом из стержней магнитопровода, в противоположных направлениях (рисунок 1).