

політехнічний інститут». Тематичний збірник наукових праць. – Харків, 2008. – №30. – С. 511-512.

**Прищепов М.А., д.т.н., доцент, Збродыга В.М., к.т.н., доцент,  
Зеленькевич А.И., ст. преподаватель**  
*УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь*

## **КОМПЕНСАЦИЯ КРАТНЫХ ТРЕМ ГАРМОНИК В ТРАНСФОРМАТОРЕ «ЗВЕЗДА-ДВОЙНОЙ ЗИГЗАГ С НУЛЕВЫМ ПРОВОДОМ»**

**Ключевые слова:** трансформатор, высшие гармоники тока и напряжения, магнитодвижущая сила, магнитный поток.

**Аннотация.** В работе рассмотрен принцип компенсации кратных трем высших гармоник магнитного поля и ЭДС в трансформаторе со специальной схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом».

### **1. Введение.**

Высшие гармоники токов и напряжений снижают эффективность процессов генерации, передачи и использования электроэнергии. Уменьшение уровней высших гармоник можно обеспечить рациональным построением схемы электрической сети и применением специальных корректирующих устройств: линейных дросселей, пассивных и активных фильтров высших гармоник, питающих трансформаторов со специальными схемами соединения обмоток. В частности, в сельских электрических сетях для этой цели авторы рассматривают возможность использования трансформаторов со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» [1].

### **2. Основная часть**

При работе этого трансформатора на нелинейную нагрузку фазные токи кратных трем высших гармоник первичной обмотки и создаваемые ими МДС равны нулю:

$$i_{A(3n+3)} = 0, i_{B(3n+3)} = 0, i_{C(3n+3)} = 0, \quad (1)$$

$$i_{A(3n+3)} W_1 = 0; i_{B(3n+3)} W_1 = 0; i_{C(3n+3)} W_1 = 0, \quad (2)$$

где  $W_1$  – количество витков в одной фазе первичной обмотки, шт.;  $n=0, 1, 2, 3, \dots$

Токи кратных трех гармоник вторичной обмотки равны по величине и имеют одинаковое направление во всех трех фазах в любой момент времени:

$$i_{a(3n+3)} = i_{b(3n+3)} = i_{c(3n+3)}. \quad (3)$$

С учетом направления намотки и маркировки выводов создаваемые ими МДС половин фаз вторичных обмоток и четвертей, расположенных на каждом из стержней магнитопровода, имеют противоположное направление (рисунок 1).

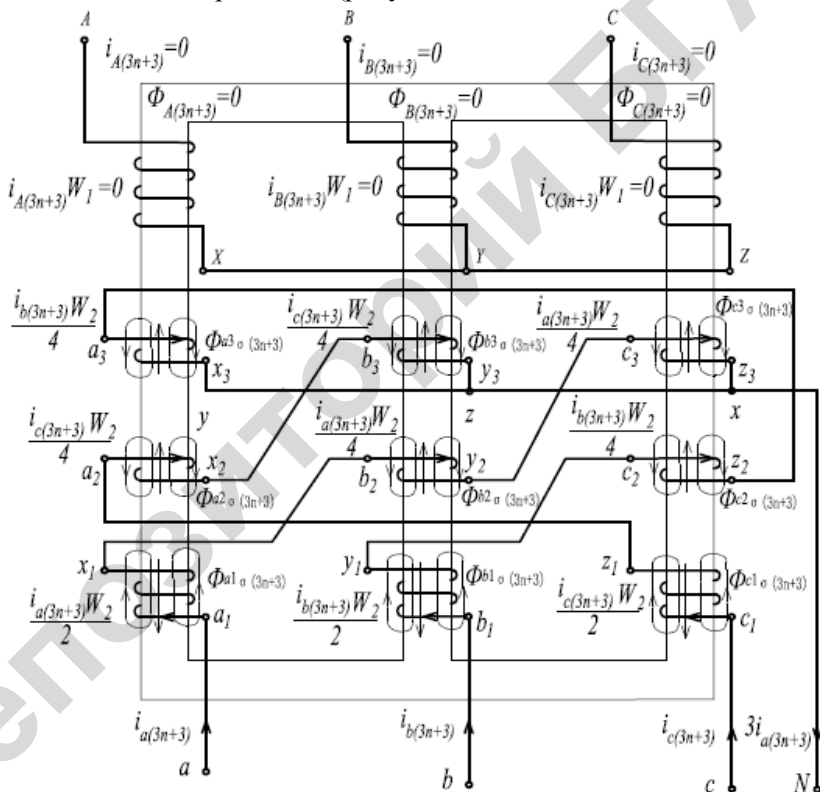


Рисунок 1 - Схема распределения МДС и магнитных потоков высших гармоник, кратных трем, в трансформаторе

Результирующие МДС кратных трех гармоник в стержнях фаз «А», «В», «С» с учетом выражения (3) равны:

$$\begin{aligned} f_{A(3n+3)} &= i_{a(3n+3)} \frac{W_2}{2} - i_{b(3n+3)} \frac{W_2}{4} - i_{c(3n+3)} \frac{W_2}{4} = 0, \\ f_{B(3n+3)} &= i_{b(3n+3)} \frac{W_2}{2} - i_{a(3n+3)} \frac{W_2}{4} - i_{c(3n+3)} \frac{W_2}{4} = 0, \\ f_{C(3n+3)} &= i_{c(3n+3)} \frac{W_2}{2} - i_{a(3n+3)} \frac{W_2}{4} - i_{b(3n+3)} \frac{W_2}{4} = 0, \end{aligned} \quad (4)$$

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

Происходит компенсация МДС кратных трех гармоник, а их магнитные потоки в стержнях магнитопровода будут равны нулю:

$$\Phi_{A(3n+3)} = 0; \Phi_{B(3n+3)} = 0; \Phi_{C(3n+3)} = 0. \quad (5)$$

МДС кратных трех гармоник вторичной обмотки могут создавать только потоки рассеяния

$$\Phi_{a1\sigma(3n+3)}, \Phi_{a2\sigma(3n+3)}, \Phi_{a3\sigma(3n+3)}, \Phi_{b1\sigma(3n+3)}, \Phi_{b2\sigma(3n+3)}, \Phi_{b3\sigma(3n+3)}, \Phi_{c1\sigma(3n+3)}, \Phi_{c2\sigma(3n+3)}, \Phi_{c3\sigma(3n+3)}.$$

Тогда ЭДС кратных трех гармоник обмоток равны нулю:

$$\begin{aligned} e_{A(3n+3)} &= -W_1 \frac{d\Phi_{A(3n+3)}}{dt} = 0; e_{B(3n+3)} = -W_1 \frac{d\Phi_{B(3n+3)}}{dt} = 0; \\ e_{C(3n+3)} &= -W_1 \frac{d\Phi_{C(3n+3)}}{dt} = 0; e_{a(3n+3)} = -W_2 \frac{d\Phi_{A(3n+3)}}{dt} = 0; \\ e_{b(3n+3)} &= -W_2 \frac{d\Phi_{B(3n+3)}}{dt} = 0; e_{c(3n+3)} = -W_2 \frac{d\Phi_{C(3n+3)}}{dt} = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Кратные трех гармоники первичных напряжений, обусловленные нелинейной нагрузкой, равны:

$$\begin{aligned} u_{A(3n+3)} &= -e_{A(3n+3)} = 0; \\ u_{B(3n+3)} &= -e_{B(3n+3)} = 0; \\ u_{C(3n+3)} &= -e_{C(3n+3)} = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Кратные трем гармоники напряжений вторичной обмотки незначительны и обусловлены только падениями напряжений от соответствующих токов на сопротивлениях фаз:

$$\begin{aligned} u_{a(3n+3)} &= -i_{a(3n+3)} Z_{2(3n+3)}; \\ u_{b(3n+3)} &= -i_{b(3n+3)} Z_{2(3n+3)}; \\ u_{c(3n+3)} &= -i_{c(3n+3)} Z_{2(3n+3)}, \end{aligned} \quad (8)$$

где  $Z_{2(3n+3)}$  - полные сопротивления фаз вторичной обмотки токам высших гармоник, кратных трем, Ом.

#### **Заключение.**

Улучшение формы кривых вторичных напряжений трансформатора происходит вследствие компенсации кратных трем гармоник, а их остаточные значения обусловлены падениями напряжений от соответствующих токов на сопротивлениях фаз вторичной обмотки. При этом трансформатор не будет генерировать высшие гармоники напряжений нулевой последовательности, обусловленные нелинейной нагрузкой, в питающую сеть.

Вторичная обмотка самостоятельно уравнивает свои намагничивающие силы кратных трем гармоник, устраняя процесс дополнительного подмагничивания ими магнитопровода, что уменьшает магнитные потери в трансформаторе и повышает его КПД.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Трехфазный симметрирующий трансформатор с четной группой соединения обмоток: пат. 16008 Респ. Беларусь, МПК7 Н 01F 30/12 / А.И. Зеленкевич, В.М. Збродыга; заявитель Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» - № а 20100121; заявл. 2010.02.01; опубл. 30.06.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 3. – С. 180-181.