

УДК 621.313

*Зеленькевич А.И.*

*Белорусский государственный аграрный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь*

## **РАБОТА ТРАНСФОРМАТОРОВ СО СХЕМАМИ СОЕДИНЕНИЯ ОБМОТОК «ЗВЕЗДА-ДВОЙНОЙ ЗИГЗАГ С НУЛЕВЫМ ПРОВОДОМ» И «ЗВЕЗДА-ЗИГЗАГ» ПРИ ОДНОФАЗНОЙ НЕСИММЕТРИЧНОЙ НАГРУЗКЕ**

*В работе представлены результаты экспериментальных исследований работы трансформаторов со схемами соединения обмоток «звезда-зигзаг с нулевым проводом», «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» при однофазной несимметричной нагрузке.*

*Ключевые слова:* трансформатор, схема соединения обмоток, несимметрия токов и напряжений.

Понятие энергетической безопасности предприятия включает в себя состояние полного удовлетворения энергетических потребностей предприятия при условии наиболее эффективного использования его ресурсов. Обеспечить энергетическую безопасность системы электроснабжения предприятия невозможно при низком качестве электроэнергии, которое регламентируется ГОСТ 32144-2013. Одним из показателей качества электроэнергии является симметрия напряжений.

Несимметрия электрических нагрузок вызывает несимметрию напряжений. При этом трехфазные электроприемники питаются несимметричным напряжением, а однофазные - оказываются под повышенным или пониженным напряжением. Отклонение напряжения у электроприемников перегруженной фазы может превысить допустимое значение.

При несимметричном режиме существенно ухудшаются условия работы как самих электроприемников, так и всех элементов сети, снижается надежность работы электрооборудования и системы электроснабжения в целом. Несимметрия токов и напряжений вызывает дополнительные потери мощности, снижает срок службы электрооборудования, уменьшает экономические показатели его работы.

Уменьшить несимметрию напряжений можно применением специальных корректирующих устройств. При выборе способов и средств повышения качества электроэнергии авторы считают целесообразным применение относительно не дорогостоящих, простых и надежных по конструктивному исполнению устройств, которые не требуют особых условий эксплуатации и не предъявляют высоких требований к квалификации обслуживающего персонала. Одним из средств повышения качества напряжения являются трансформаторы со специальными схемами соединения обмоток. В системах электроснабжения сельскохозяйственных потребителей автор рассматривает возможность использования для этого трансформаторов со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» ( $Y/2Z_n$ ) [1, 2].

Проведенные авторами теоретические исследования работы трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» при несимметричной нагрузке, в том числе принцип компенсации симметричных составляющих нулевой последовательности [3] подтвердили, что снижение несимметрии напряжений происходит вследствие компенсации составляющих нулевой последовательности, а их остаточные значения обусловлены падениями напряжений от токов нулевой последовательности на активных сопротивлениях фаз вторичной обмотки. Вторичная обмотка самостоятельно уравнивает свои намагничивающие силы нулевой последовательности, устраняя процесс дополнительного подмагничивания ими магнитопровода. При этом магнитная система трансформатора уравновешена.

Также авторами были проведены экспериментальные исследования подтверждающие способность трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» обеспечивать наиболее высокий уровень симметрии напряжений на его выводах, по сравнению с другими схемами, при несимметричном характере нагрузки. Для сравнительной оценки взята рекомендованная к применению в сельских электросетях и наиболее близкая по конструкции схема «звезда-зигзаг» (Y/Zn).

Исследования работы трансформатора при несимметричном характере нагрузки проводились с использованием одного магнитопровода путем смены обмоток. Исследуемый трансформатор был изготовлен в лабораторных условиях. Обмотки выполнены без изменения сечений.

Рассматривался режим, когда ток в одной из фаз изменялся в пределах от 0 до  $I_n$ , а в двух других фазах был равен номинальному  $I_n$ .

Измерялись линейные и фазные напряжения трансформаторов высшей и низшей сторон, токи низшей стороны, коэффициенты несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательности при помощи анализатора качества напряжения Fluke 425. Величины напряжений первичной и вторичной сторон показаны в относительных единицах к соответствующим номинальным напряжениям, а токов – к номинальным токам трансформаторов.

Коэффициенты несимметрии первичных напряжений по обратной  $K_{2U}$  и нулевой  $K_{0U}$  последовательности трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» практически равны нулю. Зависимости коэффициентов несимметрии напряжений вторичной стороны от токов нагрузки для принятых режимов, для каждой из исследованных схем приведены на рисунках 1 и 2, из которых видно, что рост несимметрии нагрузки вызывает увеличение коэффициентов несимметрии напряжений.

При номинальном значении нагрузки коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности равен 0,14%, коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности равен 0,27%, что не превышает допустимого стандартом значения.

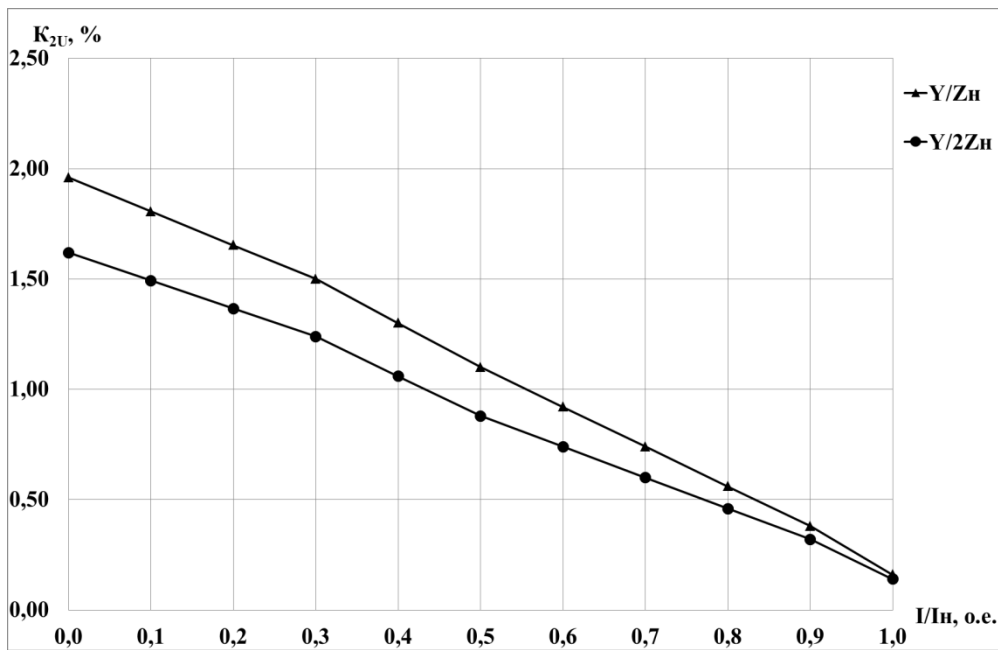


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности от тока нагрузки для трансформаторов с различными схемами соединения обмоток для режима  $I_a = 0 \dots 1,0 I_n$ ,  $I_b = I_n$ ,  $I_c = I_n$ .

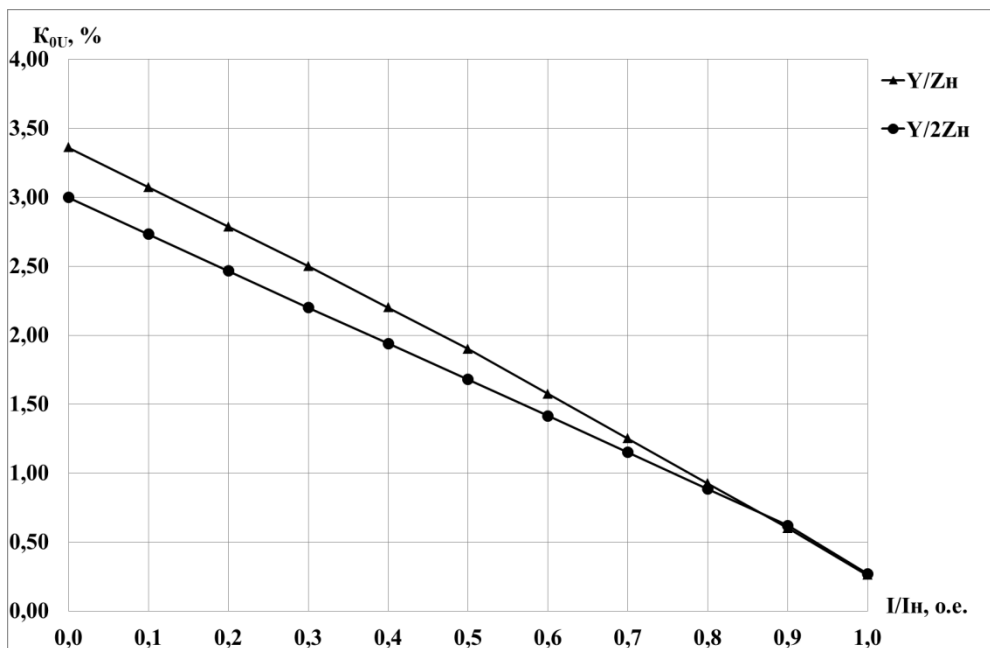


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности от тока нагрузки для трансформаторов с различными схемами соединения обмоток для режима  $I_a = 0 \dots 1,0 I_n$ ,  $I_b = I_n$ ,  $I_c = I_n$ .

### Заключение

Экспериментальные исследования подтвердили теоретические выводы, что схема соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом», обеспечивает более высокий уровень симметрии вторичных напряжений даже при глубокой несимметрии нагрузки. При номинальном

значении нагрузки коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности не превышает 0,14%, коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности не превышает 0,27%. Данная схема соединения обмоток может успешно применяться в электроустановках сельскохозяйственных потребителей при несимметрии нагрузки для повышения качества напряжения.

#### **Список использованных источников:**

1. Патент №16008 Трехфазный симметрирующий трансформатор с четной группой соединения обмоток: / 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.
  2. Прищепов, М.А. Особенности преобразования электрической энергии в трансформаторе со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом / М.А. Прищепов, В.М. Збродыга, А.И. Зеленкевич // Агропанорама. – 2017. – № 5. – С. 16-25.
  3. Прищепов, М.А. Работа трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» при несимметричной нагрузке / М.А. Прищепов, В.М. Збродыга, А.И. Зеленкевич // Агропанорама. – 2018. – № 6. – С. 25-31.
- 

УДК 621.79

*Калиниченко В.А.*

*Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь*

### **ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ**

*В работе приведены сведения о различных способах заливки композиционного материала для изделия типа «втулка», используемого при модернизации и ремонте низкоскоростной сельскохозяйственной техники, в том числе водяных насосов работающих с абразивными средами. Проведено сравнение способов заливки на качество получаемых изделий.*

**Ключевые слова:** *композиционные материалы, узлы трения, износостойкость, сплавы на основе меди, способы заливки.*

Повышение износостойкости деталей в узлах трения работающих в условиях абразивного трения, повышенных влажности и температуры, а так же возможность производства мелкими партиями под нужды конкретного заказчика является одной из приоритетных задач машиностроения. Для её решения целесообразно переходить к использованию новых перспективных материалов, включая композиционные материалы. Известно много технологий создания композиционных материалов, таких как порошковая металлургия, лазерная наплавка, адгезивные технологии, а также литейное производство. У последней технологии есть большие перспективы, связанные с невысокой стоимостью технологического оборудования и оснастки по сравнению с другими способа-