

УДК 621.313

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ
С РАЗЛИЧНЫМИ СХЕМАМИ СОЕДИНЕНИЯ ОБМОТОК
ПРИ ДВУХФАЗНОЙ НЕСИММЕТРИЧНОЙ НАГРУЗКЕ
RESULTS OF STUDYING OPERATION OF TRANSFORMERS WITH
DIFFERENT WINDING CONNECTION SCHEMES AT TWO-PHASE NON-
SYMMETRIC LOAD

Зеленькевич А.И., ст. преподаватель, Прищепов М.А., д-р. техн. наук, профессор,
Збродыга В.М., к-т. техн. наук, доцент

Белорусский государственный аграрный технический университет,
г. Минск, Беларусь

A. Zelenkevich, Art. teacher, M. Prishchepov, Dr. tech. sciences, professor,
V. Zbrodyga, Cand. tech. Sciences, Associate Professor
Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Belarus

Аннотация. В работе представлены результаты экспериментальных исследований работы трансформаторов с различными схемами соединения обмоток при однофазной несимметричной нагрузке.

Annotation. The paper presents the results of experimental studies of the operation of transformers with different winding connection schemes with a single-phase unbalanced load.

Ключевые слова: трансформатор, качество электрической энергии, несимметрия токов и напряжений.

Keywords: transformer, quality of electrical energy, unbalance of currents and voltages.

ВВЕДЕНИЕ

Несимметрия электрических нагрузок вызывает несимметрию напряжений. При несимметричном режиме существенно ухудшаются условия работы электроприемников, снижается надежность работы системы электроснабжения. Отклонение напряжения у электроприемников перегруженных фаз может превысить допустимое значение. В системах электроснабжения сельскохозяйственных потребителей авторы предлагают использования для симметрирования напряжений трансформатор со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» (Y/2Z_n) [1, 2].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Проведенные теоретические исследования работы трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» при несимметричной нагрузке подтвердили [3], что снижение несимметрии напряжений происходит вследствие компенсации составляющих нулевой последовательности. Также были проведены экспериментальные исследования подтверждающие способность данного трансформатора обеспечивать наиболее высокий уровень симметрии напряжений на его выводах, по сравнению с другими

схемами, при несимметричном характере нагрузки. Рассматривался режим, когда ток в двух фазах изменялся в пределах от 0 до $1,2 \cdot I_n$, а в третьей фазе был равен нулю. Величины напряжений показаны в процентах от соответствующих номинальных напряжений.

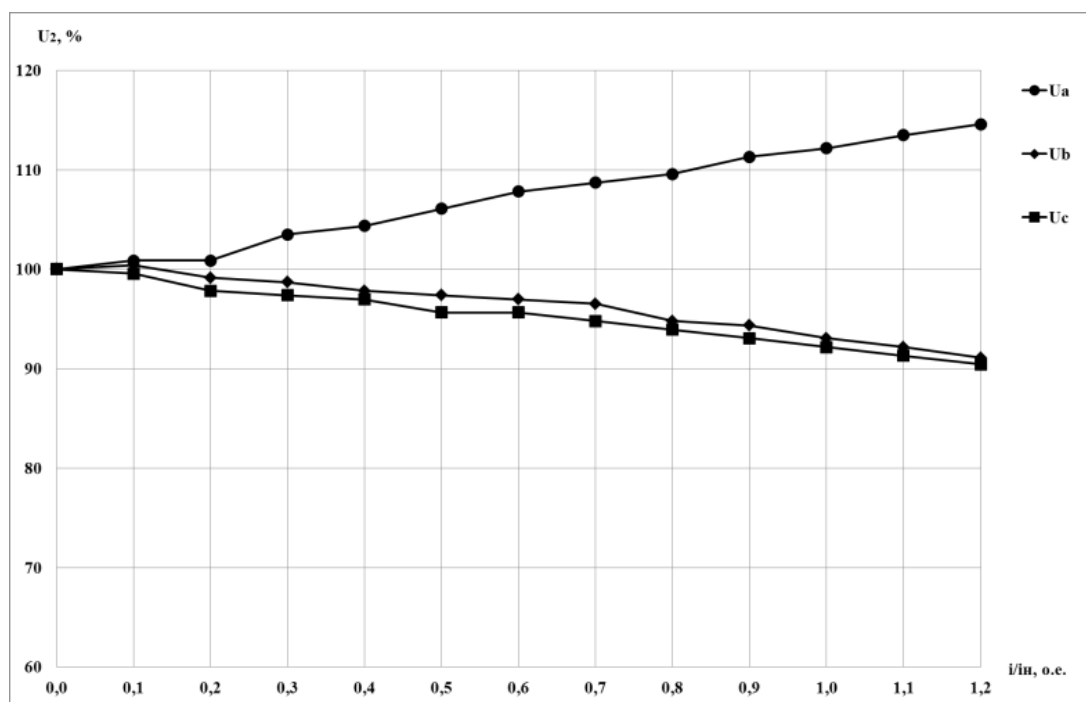


Рисунок 1 – Зависимость вторичных напряжений от тока нагрузки для трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-звезда с нулевым проводом» для режима $I_a = 0, I_b = I_c = 0 \dots 1,2 I_n$

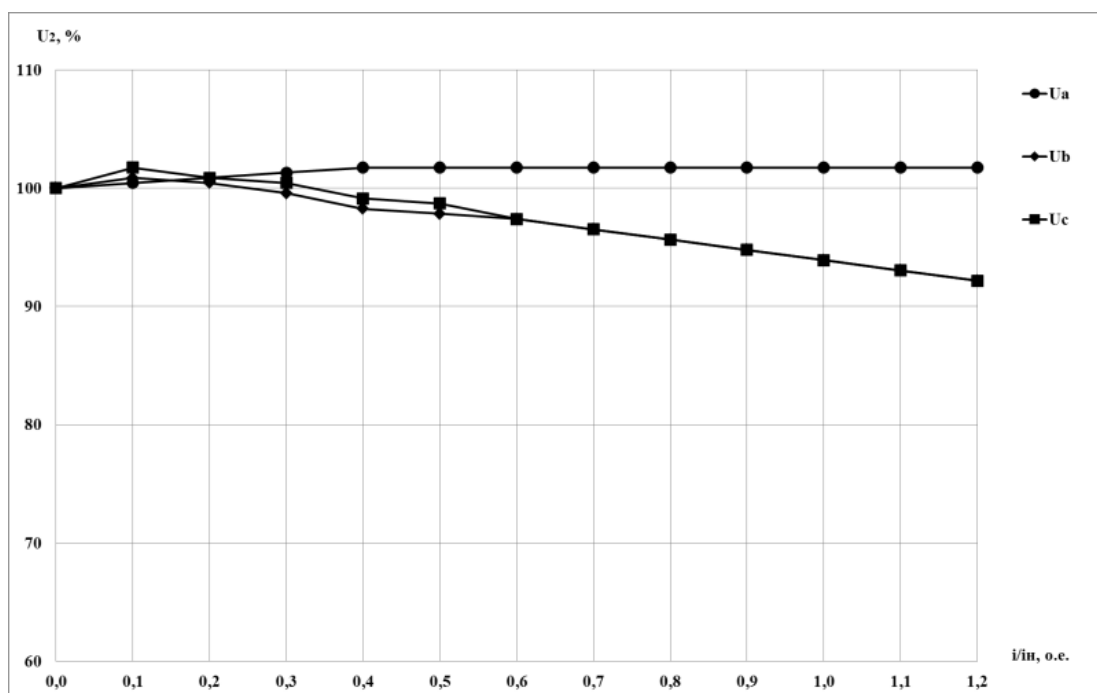


Рисунок 2 – Зависимость вторичных напряжений от тока нагрузки для трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-звезда с нулевым проводом с симметрирующим устройством» для режима $I_a = 0, I_b = I_c = 0 \dots 1,2 I_n$

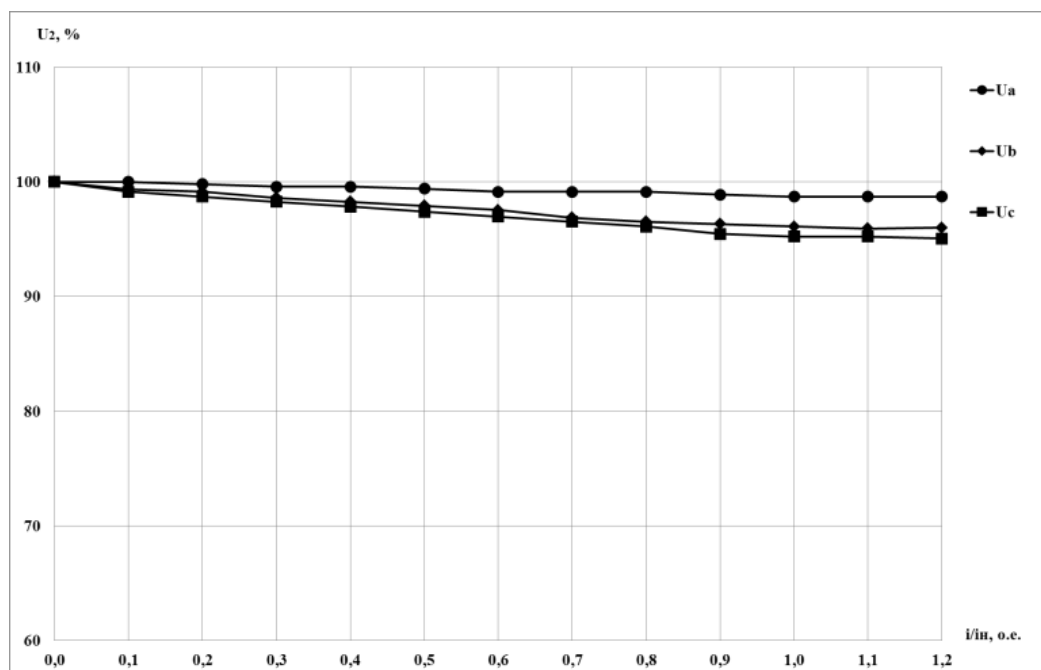


Рисунок 2 – Зависимость вторичных напряжений от тока нагрузки для трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» для режима $I_a = 0, I_b = I_c = 0 \dots 1,2 I_n$,

Как видно из рисунков 1–3 при увеличении двухфазной нагрузки напряжение в нагружаемых фазах снижается для всех исследуемых схем соединений трансформатора. Напряжение в третьей фазе для схем соединений «звезда-звезда с нулевым проводом» и «звезда-звезда с нулевым проводом с симметрирующим устройством» возрастает, а для схемы «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» – снижается.

При номинальном значении однофазной нагрузки в фазе «С» величины вторичных напряжений трансформатора, в процентах от номинального значения, составляют для схемы соединений «звезда-звезда с нулевым проводом» $U_a = 112,17 \%$, $U_b = 93,04 \%$, $U_c = 92,17 \%$, «звезда-звезда с нулевым проводом с симметрирующим устройством» $U_a = 101,74 \%$, $U_b = 93,91 \%$, $U_c = 93,90 \%$, «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» $U_a = 98,70 \%$, $U_b = 96,09 \%$, $U_c = 95,22 \%$. Отклонение напряжения для схемы соединений «звезда-звезда с нулевым проводом» выходит за допустимые ГОСТ 32144-2019 пределы $\pm 10 \%$, для схемы «звезда-звезда с нулевым проводом с симметрирующим устройством» находятся близко от предельных значений. Отклонения напряжений для схемы «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» не превышают $4,96 \%$, что является наилучшим результатом для исследуемых схем.

Зависимости коэффициентов несимметрии напряжений вторичной стороны от токов нагрузки для принятых режимов, для каждой из исследованных схем приведены на рисунках 4 и 5, из которых видно, что рост несимметрии нагрузки вызывает увеличение коэффициентов несимметрии напряжений.

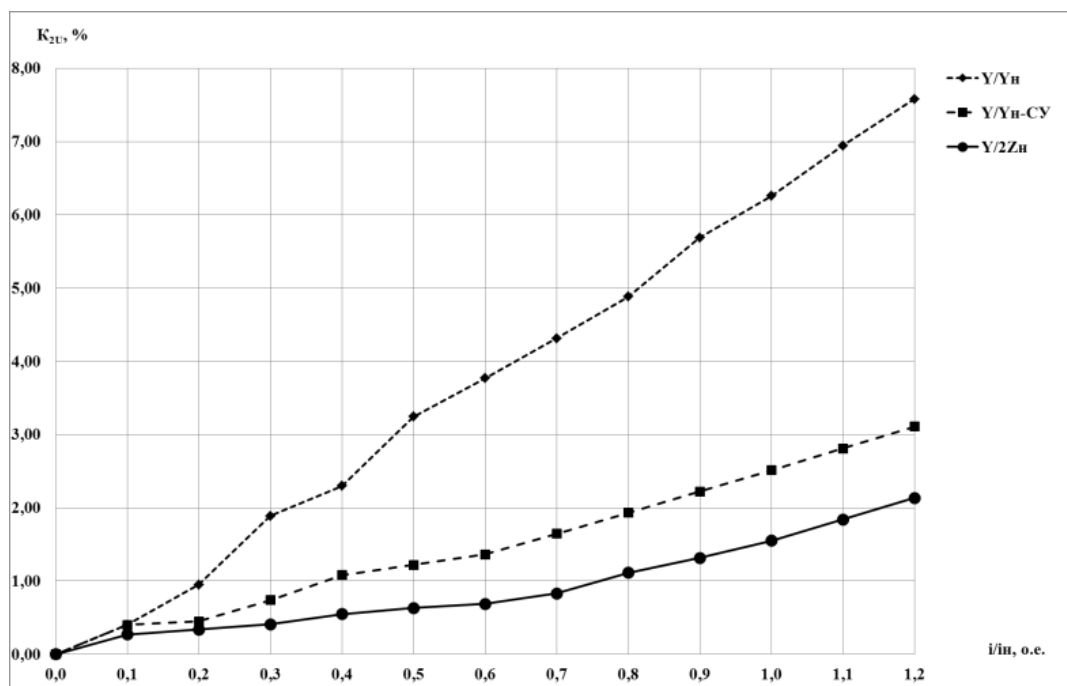


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности от тока нагрузки для трансформаторов с различными схемами соединения обмоток для режима $I_a = 0$, $I_b = I_c = 0 \dots 1,2 I_n$,

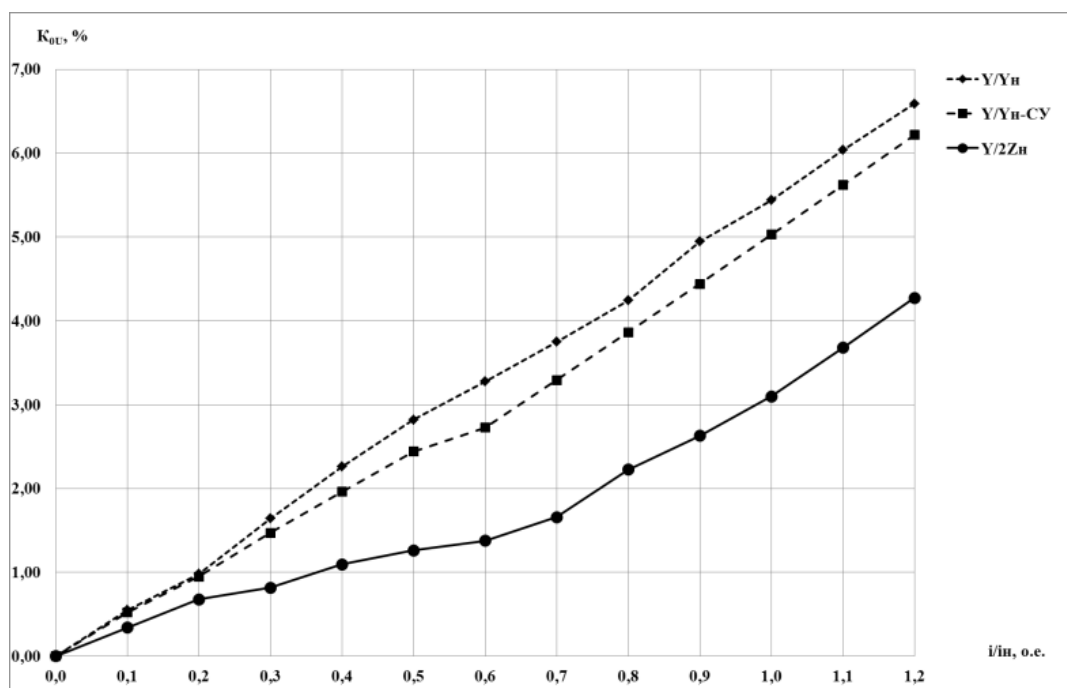


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности от тока нагрузки для трансформаторов с различными схемами соединения обмоток для режима $I_a = 0$, $I_b = I_c = 0 \dots 1,2 I_n$,

При номинальном значении нагрузки коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности для схемы соединений «звезда-звезда с нулевым проводом» равен 6,25 % для схемы «звезда-звезда с нулевым проводом с

симметрирующим устройством» 2,51 %, для схемы «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» равен 1,55 %. Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности для схемы соединений «звезда-звезда с нулевым проводом» равен 5,44 %, для схемы «звезда-звезда с нулевым проводом с симметрирующим устройством» 5,03 %, для схемы «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» равен 3,1 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментальные исследования подтвердили способность трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» обеспечивать наиболее высокий уровень симметрии вторичных напряжений даже при глубокой несимметрии нагрузки. При номинальном значении однофазной нагрузки отклонения вторичных напряжений не превышают 4,96 %, коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности не превышает 1,55 %, коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности не превышает 3,1 %.

ЛИТЕРАТУРА

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.